

Helsinki 29.9.2004

E T U O I K E U S T O D I S T U S
P R I O R I T Y D O C U M E N T



REC'D 22 OCT 2004

WIPO PCT

Hakija
Applicant

Nokia Corporation
Helsinki

Patentihakemus nro
Patent application no

20035162

Tekemispäivä
Filing date

24.09.2003

Kansainvälinen luokka
International class

G06T

Keksinnön nimitys
Title of invention

"Menetelmä ja järjestelmä väritasapainon automaattiseksi säättämiseksi digitaalisessa kuvankäsittelyketjussa, vastaava laitteisto ja ohjelmalliset välineet menetelmän toteuttamiseksi"

Täten todistetaan, että oheiset asiakirjat ovat tarkkoja jäljennöksiä Patentti- ja rekisterihallitukselle alkuaan annetuista selityksestä, patenttivaatimuksista, tiivistelmästä ja piirustuksista.

This is to certify that the annexed documents are true copies of the description, claims, abstract and drawings originally filed with the Finnish Patent Office.

**PRIORITY
DOCUMENT**
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

Markkula Tehikoski
Markkula Tehikoski
Apulaistarkastaja

Maksu 50 €
Fee 50 EUR

BEST AVAILABLE COPY

Maksu perustuu kauppa- ja teollisuusministeriön antamaan asetukseen 1027/2001 Patentti- ja rekisterihallituksen maksullisista suoritteista muutoksineen.

The fee is based on the Decree with amendments of the Ministry of Trade and Industry No. 1027/2001 concerning the chargeable services of the National Board of Patents and Registration of Finland.

Osoite: Arkadiankatu 6 A Puhelin: 09 6939 500 Telefax: 09 6939 5328
P.O.Box 1160 Telephone: + 358 9 6939 500 Telefax: + 358 9 6939 5328
FIN-00101 Helsinki, FINLAND

MENETELMÄ JA JÄRJESTELMÄ VÄRITASAPAINON AUTOMAATTISEKSI SÄÄTÄMISEKSI DIGITAALISESSA KUVANKÄSITTELÝKETJUSSA, VASTAAVA LAITTEISTO JA OHJELMALLISET VÄLINEET MENETELMÄN TOTEUTTAMISEKSI

5

Keksintö koskee menetelmää väritasapainon automaattiseksi säätämiseksi digitaalisessa kuvankäsittelyketjussa, jossa menetelmässä

- 10 - kohde kuvataan pikseleittäin värikomponenttien arvojoukoiksi,
- värikomponenttien arvojoukoista muodostetaan komponenttikohtaisia histogrammeja,
- komponenttikohtaisista histogrammeista muodostetaan kumulatiivisia histogrammeja,
- 15 - kumulatiivista histogrammeista määritetään ainakin yhdelle värikomponentille sitä vastaava valaistuksen väri,
- ainakin kahdelle värikomponentille määritetään tavoiteväriä ja määritettyä valaistuksen väriä 20 käyttäen väritasapainoa säätävä vahvistuskerroin. ,

Lisäksi eksintö koskee myös vastaavaa järjestelmää, laitteistoa ja ohjelmallisia välineitä menetelmän toteuttamiseksi

25

Ihmisen visuaalinen järjestelmä kykenee sopeutumaan tunnetusti erilaisiin valaistuksen väreihin. Näkökentässä olevilla kohteilla näyttää olevan muuttumattomat värit jonkin valaistuksen värin vaihtelualueen sisällä. Esimerkkinä 30 tällaisesta voidaan mainita tilanne, jossa valkoiset kohteet tunnistetaan valkoisina niin auringonvalossa kuin myös valkohehkuisessa valaistuksessa auringonvalon sinertävämmästä väristä huolimatta. Valaistuksen värin mennessä ihmisen sopeutumisalueen ulkopuolelle sopeutumisaste madaltuu, mutta 35 väriä aistitaan kuitenkin joitain muutoksia. Tällöin

esimerkiksi valkoiset kohteet näyttävät jotakuinkin keltaisilta niitä auringonlaskun aikaan katsottaessa.

Ihmisen näköjärjestelmän sopeutumismekanismeja ja käyttöä ei 5 ole vielä täysin selvitettä ja ymmärretty. Osa sopeutumisesta tapahtuu verkkokalvolla, jossa värireseptorien herkyydet muuttuvat niiden stimuloinnin mukaan yhtenäisesti tietyn ajanjakson aikana. Myös se tiedetään, että toista osaa sopeutumismekanismeista ohjataan aivokuorella, jossa 10 tapahtuvat prosessit ovat hyvin monimutkaisia.

Sopeutumisprosessista osa näyttäisi käyttävän niin sanottuja muistivärejä oikeaa väritasapainoa arvostellessaan. Esimerkkejä muistiväreistä ovat sellaiset värit kuin 15 valkoinen, ihonvärit, ruoho, taivas ja yleensäkin muut värit, joilla on tietty ensisijaisuus tiettyissä ilmentymissä.

Digitaalikameroissa käytettävät sensorit eivät automaattisesti 20 pysty tarjoamaan vastaanvalista sopeutumiskykyä kuin ihmisen visuaalinen järjestelmä (ei edes verkkokalvoa vastaavaa toiminnallisuutta). Sensori määrittää kuvauskohdeesta heijastuvan valon määrää ja väriä, ei siis lainkaan siihen liittyvää visuaalista aistimusta. Näin ollen otostetut kuvat, 25 joille ei ole tehty mitään säätöä, näyttävät omaavan vääristyneen väritasapainon. Tämä siksi, koska kohteen katselemisen aikana ihmisen visuaalinen järjestelmä sopeutuu ympäristön valaistukseen kuvasisällön sijasta. Valkoiset kohteet saattavat esiintyä sinisinä tai keltaisinä, riippuen 30 siitä otetaanko kuva sisällä vai ulkona. Luonnollisesti valaistuksesta riippuen myös muita värejä voi esiintyä.

Muun muassa edellä mainitusta seikasta johtuen on digitaalisissa kameralaitteissa ja yleensäkin kuvankäsittelyketjuissa suoritettava jonkinlaista väritasapainonsäätöä. Säätöä 35 kutsutaan hyvin usein automaattiseksi valkotasapainoksi tai

valkotasapainoksi (white balance), jos säätö suoritetaan manuaalisesti. Tavoitteena on säätää väritasapainoa siten, että kuva näyttäisi luonnolliselta neutraaleissa katseluolosuhteissa.

5

Ongelma, joka liittyy kunnollisen väritasapainon saavuttamiseen, on kuitenkin hyvin vaikea. Ihmisen visuaalisen järjestelmän toiminta on hyvin monimutkainen, eikä sitä ole vielä kyettä edes täysin analysoimaan ja ymmärtämään.

10 Yleisesti ongelma voidaan jakaa kuitenkin kahteen osaan. Nämä ovat 1) valaistuksen värin arvioiminen kuvanoton aikana ja 2) sen edellyttämä korjaustyyppin määrittäminen ja sopivan korjausmäärän laskeminen ja sovittaminen otostettuun kuvaan.

15 Automaattiset järjestelmät suorittavat nämä tehtävät ilman kameran laitteen käyttäjältä edellytettäviä toimenpiteitä. Manuaalisesti suoritettavissa valaistuksen värin säätömenetelmissä valaistuksen väri asetetaan kameraan käyttäjän toimesta. Kamerassa voi olla esimääritettyjä 20 asetuksia, kuten esimerkiksi sisä- ja ulkokuvausmoodit tai värilämpötilansäätö. Käyttäjä voi myös osoittaa kamerallaan tunnettua väriä, joka on tyypillisesti valkoinen, ja josta kamera sitten määrittää korjausen perustuen tähän valittuun referenssiväriin.

25

Tunnetussa tekniikassa esitetään runsain määrin ratkaisuja edellä esitettyille ongelmille, koska väritasapainon säätäminen on ehdoton välttämättömyys digitaalisissa kuvauslaitteissa. Säätö voidaan toteuttaa joko kamerassa tai otostetun kuvan 30 jälkiprosessointina jossain muussa laitteessa (esimerkiksi kuvankäsittelyohjelmassa PC:llä).

35 Käyttäjän kannalta ehkä miellyttävin tapa ongelman ratkaisemiseksi on kameraan järjestetty automaattinen väritasapainon säätötoiminto, joka toteutetaan kuvan

otostamisen yhteydessä. Tällaisessa ratkaisussa ei käyttäjältä edellytetä mitään erityistä kuvankäsittelytietämystä tai yleensäkään edes kameran säätöpainikkeiden hallintaa.

5 Tunnetusti väritasapainon säättämiseksi on olemassa ainakin kolme perustyyppiä, jotka perustuvat valaistuksen värin arvointialgoritmien käyttöön.

10 Eräänä ensimmäisenä näistä algoritmeista voidaan mainita harmaan maailman algoritmit (Gray world algorithms). Nämä algoritmit perustuvat yksinkertaiseen näköaistin sopeutumiskynnyyn emulointiin. Yksinkertaistetussa muodossaan näissä lasketaan kuvan keskimääräinen väri. Tällöin oletetaan, että tämän värin pitäisi olevan neutraali eli harmaa. Kuvan 15 värikomponentteja säädetään siten, että sen keskimääräinen väri siirtyy kohti tätä harmaata. Säädön määrää pyritään hallitsemaan siten, että koko ihmisen näkökyvyn sopeutuvuus saataisiin otettua jotakuinkin huomioon. Harmaan maailman algoritmit ovat hyvin yleisesti käytettyjä digitaalisten 20 kameralaitteiden väritasapainonsäätöalgoritmien perustana.

25 Eränä toisena tällaisena säätöalgoritmina tunnetaan kirkkaimman valkoisen tasapaino (Brightest white balance). Täysin valkoinen pinta heijastaa tunnetusti koko valaistuksen spektrin. Nän ollen valkoisten alueiden väri kertoo myös valaistuksen värin. Täydellisessä sopeutumisessa valkoisten alueiden pitäisi säilyä valkoisina, joten valaistuksen väri voidaan suoraan kompensoida. Kuvien kirkkaimmat alueet ovat 30 yleisimmin valkoisia pintoja ja tämän seurauksena kirkkautta voidaan käyttää valkoisten alueiden etsinnässä.

35 Myös värisaturaatio ja värvivivahteet (hue) voidaan huomioida. Näitä ominaisuuksia voidaan käyttää myös väritasapainonkorjauksen määrään ja tyyppin määrittämiseen siten, että näkökyvyn sopeutuvuus voidaan ottaa jotakuinkin huomioon.

Johtuen valkoisen värin hallitsevasta tärkeydestä, koko joukko väritasapainoalgoritmeja kutsutaan usein valko-tasapainoksi, vaikka ne eivät edes mittaisi valaistuksen väriä valkoisesta tai tasapainottaisi valkoista väriä.

5

Eräänä kolmantena esimerkkinä voidaan vielä mainita maksimiväriin perustuvat algoritmit. Jos kuvassa on yksikin pinta, joka heijastaa täydellisesti valaistusspektrin jonkin osan, on tämä osa spektristä sitten tunnettu. Koko spektri voidaan rekonstruoida, jos on olemassa täydellisesti heijastava pinta spektrin joka osalle. Tyypillisesti kamerasensorit eivät mittaa koko spektriä, vaan joitain sen alinauhoja tai värikanavia. Nämä ollen, jos kuva sisältää pintojen yhdistelmiä, jotka heijastavat täydellisesti valaistuksen osat vaikuttaen näihin värikanaviin, valaistuksen vaikutusta kuvan ulkoasuun voidaan arvioida.

Useimmat digitaalikamerat, mutta ei kuitenkaan kaikki, tallentavat näkymän värit kolmella värikanavalla. Nämä ovat tyypillisesti punainen, vihreä ja sininen (RGB). Hieman yksinkertaistaen tämä tarkoittaa sitä, että jos kuva sisältää täydellisesti valaistusvärin punaisen, vihreän ja sinisen osan heijastavia pintoja, valaistuksen väri voidaan näistä arvioida.

25

Tyypillisesti jokaisen värikomponentin maksimiarvo liittyy täydelliseen heijastukseen. Tällä oletuksella voidaan päätellä, että värikomponenttien maksimiarvot määrittelevät myös valaistuksen värin. On huomattava, että melko usein nämä arvot heijastuvat kirkkaimmasta valkoisesta pinnasta. Tällaisessa tapauksessa maksimiväriin perustuvien menetelmien käyttö on lähellä kirkkaimman valkoisen algoritmeja. Kuitenkin, maksimivärimenetelmillä valkoisen läsnäolo ei ole mitenkään välttämätöntä. Sopivimmat väriavaruudet toteutukselle ovat myös erilaiset. Kuten muutkin menetelmät, myös

maksimiväriin perustuvat menetelmät saattavat säättää korjauksen määrää ja tyyppiä arvioituun valaistukseen perustuen.

5 Edellä kuvattuja menetelmiä voidaan myös lisäksi yhdistellä. Nämä ollen, jotkut menetelmät saattavat kuulua useampaankin edellä mainituista ryhmistä. Väritasapainosäädön robustisuutta voidaan kasvattaa käyttäen useita menetelmiä samanaikaisesti ja yhdistääni järkeväällä tavalla niiden tuloksia.

10

Kameralaitespesifisissä kuvankäsittelyketjuissa on väritasapainoalgoritmien toimittava yhteistyössä muiden kuvankäsittelyalgoritmien kanssa. Tämä ketju voidaan toteuttaa itse varsinaisessa kameralaitteessa tai myös jälkiprosessointoimintoina jossain toisessa laitteessa. Ketjun tyypilliset algoritmit ovat väritasapainosäädön lisäksi värisuodatusmatriisin interpolointi (color filter array interpolation, CFAI), digitaalisen vahvistuksen hallinta (digital gain control), mustan tason säätö (black level adjustment), kohinan poisto (noise reduction), reunakorjaus (vignetting correction), geometrisen vääräistymän korjaus (geometrical distortion correction), kuvan parantelu (image enhancements), kuten esimerkiksi terävöittäminen (sharpening) ja gammakorjaus (gamma correction) tai muun tyyppinen sensorivasteen korjailu.

25

Ketjun toteutus voi olla myös jakautunut osittain kamerassa suoritettaviin ja osittain jälkiprosessointina suoritettaviin toimintoihin. Lisäksi ne voidaan toteuttaa niin laitteisto-kuin ohjelmistoratkaisuinkin. Toteutukset voivat olla täydellisesti irrallaan toisien algoritmien toteutuksista, joten ne voivat ottaa syöteenä analysoitavaksi ja prosessoitavaksi edelliseltä algoritmilta pelkän kuvadatan ilman mitään muuta informaatiota liittyen esimerkiksi edeltävään algoritmiin.

35

Algoritmien välinen yhteistyö voi toisaalta olla myös hyvinkin läheistä. Tyypillisenä esimerkkinä tästä voidaan mainita järjestely, jossa väritasapainonsäätöalgoritmi voi hallita värikomponenttien vahvistuksia. Ratkaisut voidaan toteuttaa 5 sekä analogisina että digitaalisina. Kaiken kaikkiaan olisi hyvin edullista, että väritasapainonsäätöalgoritmi olisi kameraspesifisessä kuvankäsittelyketjussa mahdollisimman tehokkaasti ja luonnollisesti toteutettavissa.

10 Tunnetun tekniikan mukaisissa ratkaisuissa pääasiallinen heikkous on tehoton tai virheellinen toiminta. Algoritmista riippuen näiden vaikutus vaihtelee. Yleinen ongelma kaikille menetelmille on (esimerkiksi auringonlaskun aikana kuvatuissa otoksissa) saavuttaa kompromissi tehokkaalla tavalla 15 tapahtuvan väritasapainon säätämisen ja näkymän väriulkoasun menettämisen välillä. Tämän lisäksi jokaisella algoritmi-ryhmällä on niille tyypilliset virhetapauksensa.

20 Harmaan maailman algoritmit säätävät kuvan värisisältöä siten, että kuvan keskimääräinen vaikutelma tulee neutraaliksi. Pääongelma näissä on se, että neutraalit kuvat ovat optimaalisia vain joissain erikoistapauksissa. Nämä ovat kuvia, joissa pitäisi tasapainotuksen jälkeen olla yhtä suuri määrä kaikkia värejä. Vastakohtana tälle on esimerkiksi 25 kasvokuva, jossa keskivärin pitäisi olla selvästi siirtynyt kohti ihonvärejä. Tämä menetelmä on myös hyvin herkkä kuvassa oleville suurille värialueille. Nämä vääristävät väritasapainoa kohti kohteen vastaväriä. Näiden algoritmien robustisuutta on lisätty käyttäen useita modifikaatioita. 30 Esimerkiksi, värisävyä (hue), saturatiota tai avaruudellista jakaumaa keskiarvolla painotettuna voidaan käyttää siten, että hyvin saturoituneiden värien ja suurien alueiden vaikutus vähenee. Kuitenkin samantyyppiset ongelmat jäävät silti jäljelle, ellei väritasapainotuksen vaikutusta rajoiteta.

Tässä tapauksessa monia sellaisia kuvia, jotka tarvitsevat tasapainotusta, jäävät korjaamatta.

Kirkkaimman valkotasapainon algoritmit ovat hyvin herkkiä pikseliarvojen saturoitumiselle. Kun kamerasensorin dynaaminen alue ylitetään, pikseliarvot rajoitetaan maksimiarvoon. Kirkkaimman valkotasapainon algoritmi on erittäin soveltuva käytettäväksi sellaisten väriavaruksien kanssa, jotka määrittelevät kirkkaussignaalin. Kuitenkin, tyypillisesti sensori määrittää värin RGB värikanavista. Näin ollen myös saturatiota ilmenee RGB-alueella (domain). Jos kaikki komponentit ovat saturoituneita, kirkkaimman valkotasapainon menetelmä arvioi virheellisesti valaistuksen värin valkoiseksi, jonka seurauksena tasapainotusta ei suoriteta. Jos yksi tai kaksi komponenttia saturoituu, löytyy jokin muu valaistuksen värin virhearvio. Nämä menetelmät edellyttävät myös kuvasta löytyvää valkoista pintaan. Muutoin menetelmä epäonnistuu arviodessaan valaistuksen väriä.

Maksimiväriin perustuvat menetelmät ovat myös herkkiä pikseliarvojen saturoitumiselle. Tavallisesti nämä menetelmät valitsevat jonkin määrään kirkkaimpia arvoja, jotka määrittelevät valaistuksen värin. Näin ollen hieman saturoitumista sallitaan. Kuitenkin, joissain tapauksissa tämä aiheuttaa ongelmia. Algoritmi vaatii myös sen, että kaikille värikomponenteille on kuvauskohteesta löydettäväissä täydellisesti heijastavia pintoja. Koska tätä ehtoa ei täytetä esimerkiksi luontokuvien tapauksessa, myös näillä menetelmillä on tapana ajoittain epäonnistua.

Myös melko oleellisesti väritasapainon säädön onnistumiseen liittyvissä toiminnoissa on tunnetusti puutteita tai ainakin niiden yhteensovittaminen väritasapainon säädön kanssa on ollut ongelmallista. Eräinä esimerkkeinä näistä toiminnoista mainittakoon sensorin huonous-ominaisuksista aiheutuva tarve

offsetkorjaukseen (biasing) ja reunakorjaukseen. Useimmissa tapauksissa sensorille olisi melkeinpä välittämätöntä tehdä jonkinlaista offsetkorjausta, koska muutoin sensori tuottaa signaalin, vaikka sillä detektoitaisiin täysin mustaa. Myös 5 tarve reunakorjaukselle syntyy useimmiten sensorin "huonoudesta", jolloin reuna-alueilla saattaa ilmetä tummentumia.

Tämän keksinnön tarkoituksesta on saada aikaan uudenlainen menetelmä ja järjestelmä väritasapainon automaattiseksi 10 säätämiseksi digitaalisessa kuvankäsittelyketjussa. Keksinnön mukaisen menetelmän tunnusomaiset piirteet on esitetty oheisessa patenttivaatimuksessa 1 ja järjestelmän patentti-vaatimuksessa 14. Lisäksi keksintö koskee myös vastaavaa laitteistoa, jonka tunnusmerkilliset piirteet on esitetty 15 patenttivaatimuksessa 19 ja ohjelmallisia välineitä menetelmän toteuttamiseksi, joiden tunnusmerkilliset piirteet on esitetty patenttivaatimuksessa 20.

Pääpiirteittäin keksinnön mukaisessa menetelmässä kohde 20 kuvataan aluksi pikseleittäin värikomponenttien (R, G, B) arvojoukoiksi, ja joista erään suoritusmuodon mukaan kustakin arvojoukosta keksinnön menetelmän mukaisesti suodatetaan pois ainakin sellaiset yksittäiset pikseliarvot tai useista pikseliarvoista muodostuvat kuvakohdat, jossa kuvakohdan yksi 25 tai useampi pikseliarvo yhdessäkin arvojoukossa ylittää/täytää valitun kriteerin. Tällä tavoin voidaan eliminoida esimerkiksi saturoituneiden pikselien aiheuttamaa vääristymää valaistuksen väriä arvioitaessa.

30 Suodatetuista arvojoukoista muodostetaan sitten värikomponenttien kumulatiiviset histogrammit, joiden värikäyristä määritetään keksinnön mukaisella tavalla kullekin värikomponentille sitä vastaava valaistuksen väri (R_{ill} , G_{ill} , B_{ill}).

Keksinnön mukaisessa menetelmässä valaistuksen väri määritetään kunkin suodatetun kumulatiivisen histogrammin päässä värikäyrän tasaiselta alueelta. Tasaiselta alueelta etsitään sellainen kullekin värikomponentille yhteinen piste 5 h_i , jossa peräkkäisten pikseli-intensiteettiarvojen suhde C_i / C_{i+1} (tai erotus) täyttää sille asetetut kriteerien. Pisteiden h_i jakoväli, joka siis on jokaiselle värikomponentille sama, voidaan kumulatiivisessa histogrammissa asettaa varsin tarkoitukseenmukaiseksi, johtuen muun 10 muassa menetelmän aikaisemmassa vaiheessa suoritetusta saturoituneiden pikselien pois suodatuksesta. Tällä tavoin määritettyjä valaistuksen värejä käytetään sitten väritasapainoa säätävän komponenttikohtaisten funktiokuvauksien (componentwise mappings) muodostamiseen. Sinänsä valaistuksen 15 väri voidaan kompensoida millä tahansa tunnetulla menetelmällä. Keksintö kohdistuu pikemminkin tämän valaistuksen värin määrittämiseen. Eräässä suoritusmuodossa tasainen alue tunnistetaan kahdella värikomponentilla ja ainakin yhtä värikomponenttia säädetään.

20

Keksinnön mukaisella menetelmällä mahdollistetaan väritasapainon korjausvahvistuksen robusti ja tehokas hallinta ja tyypinmääritys. Lisäksi sillä saavutetaan hyviä tuloksia myös hankalissa valaistusolosuhteissa.

25

Keksinnön mukainen väritasapainon säätömenetelmä on hyvin tehokkaalla tavalla toteutettavissa kameraspesifisissä kuvannusketjuissa. Se saadaan toimimaan luonnollisella tavalla yhteistyössä muiden algoritmien kanssa. Menetelmän 30 kohtuulliselle tasolle jäävä kompleksisuusaste tekee siitä soveltuvan esimerkiksi kameralaitteisiin. Toisaalta menetelmän soveltaminen esimerkiksi kameralaitteen ulkopuolella tapahtuvassa jälkiprosessoinnissa on myös mahdollista.

Eräään sovellusmuodon mukaan keksinnön mukaisessa menetelmässä sovelletaan valaistuksen värin määritykseen kolmea alikriteeriä. Näissä vertaillaan asetetulla tavalla peräkkäistä kumulatiivisuusjakoa vastaavia pikseli(intensiteetti)arvosuhteita niille asetettuihin kolmeen kriteeri-arvoon. Kriteeriarvot voivat esimerkiksi perustua kokemusperäiseen tietoon siten, että niillä on todettu löydettäväksi väritasapainonsäädöllisesti hyvä tulos.

10 Eräään toisen sovellusmuodon mukaan ennen keksinnön mukaista väritasapainonsäätöä voidaan raakamatriisin pikseliarvoille suorittaa lisäksi esimerkiksi pedestaalin eliminointi. Tällä saadaan aikaan sensorin aiheettomasti tuottamien signaalien merkittävä väheneminen.

15 Vielä eräitä keksinnön mukaiseen menetelmään integroitavissa olevia toiminnallisuksia ovat reunakorjaus (vignetting elimination), tumman värin korjaus ja gammakorjaus.

20 Keksinnön mukainen menetelmä voidaan toteuttaa jopa täysin automatisoidusti kameralaitteessa, mutta myös toisaalta jälkiprosessointina. Lisäksi käyttäjän oman harkinnan liittäminen menetelmän yhteyteen voidaan toteuttaa myös helposti.

25 Keksinnön mukaisen menetelmän ja järjestelmän integroiminen niin nykyisien kuin myös vasta suunnitteilla oleviinkin kuvankäsittelyketjuihin ja kameralaitteistoihin voidaan suorittaa melko yksinkertaisesti. Keksinnön mukainen menetelmä ei juuri-30 kaan lisää kameralaiteen kompleksisuutta siinä määrin, että siitä olisi mainittavaa haittaa esimerkiksi laitteiden prosessointitehoon tai muistinkäyttöön. Eräään sovellusmuodon mukaan jopa pelkästään puhtaana ohjelmistotason toteutuksena toteutettavissa oleva menetelmä voidaankin integroida erityisen 35 helposti esimerkiksi kameralaitteisiin. Myös puhtaat laitteis-

totason toteutukset ja laitteisto/ohjelmistotasojen kombinaatiototeutukset ovat luonnollisesti mahdollisia.

Muut keksinnön mukaiselle menetelmälle, järjestelmälle, 5 laitteistolle ja ohjelmallisille välineille ominaiset piirteet käyvät ilmi oheisista patenttivaatimuksista ja lisää saavutettavia etuja on lueteltu selitysosassa.

Seuraavassa keksinnön mukaista menetelmää, järjestelmää, laitteistoa ja ohjelmallisia välineitä menetelmän toteuttamiseksi, 10 joita ei ole rajoitettu seuraavassa esitettäviin suoritusmuotoihin, selostetaan tarkemmin viittaamalla oheisiin kuviin, joissa

15 Kuva 1 esittää erästä esimerkkiä keksinnön mukaisesta kuvankäsittelyketjusta kaavio-kuvana,

Kuva 2 esittää erästä esimerkkiä värikomponentti-pikseleistä sensorilla,

20 Kuvat 3a ja 3b esittävät vertailua tunnetun tekniikan ja keksinnön mukaisen menetelmän välillä niistä komponenttikohtaisia histogrammeja muodostettaessa,

Kuvat 4a - 4c esittävät komponenttikohtaisia kumulatiivisia histogrammeja periaatteellisena sovel-lusesimerkinä keksinnön mukaisen menetelmän yhteydessä,

25 Kuva 5 esittää offsetkorjauksen periaatetta kaavio-kuvana,

30 Kuva 6 esittää tumman värin korjauksen periaatetta kaaviokuvana,

Kuva 7 esittää histogrammien muokkautumista keksin-nön menetelmän mukaisesti,

Kuva 8 esittää esimerkkejä gammakorjauskäyristä periaatteellisena sovellusesimerkinä ja

Kuva 9 esittää taulukoituna esimerkkiä keksinnön mukaisessa väritasapainonsäätömenetelmässä käytettävistä kriteeriarvoista.

5 Kuvassa 1 on esitetty eräs esimerkillinen kaaviokuva keksinnön mukaisesta digitaalisesta kuvankäsittelyketjusta 10. Tällainen kuvankäsittelyketju 10 voidaan järjestää esimerkiksi digitaaliseen kamerelaitteistoon tai yleensäkin kamerasensorilla varustettuun laitteeseen, joita nykyisin 10 löytyy esimerkiksi jopa matkaviestimistä. Keksinnön mukainen väritasapainon korjausmenetelmä soveltuukin hyvin lukuisiin erilaisiin kamerakohtaisiin kuvannusketjuihin, jotka luonnollisesti voivat toteutuksiltaan poiketa kuvassa 1 esitetystä. Lisäksi ketjun 10 soveltaminen myös 15 jälkiprosessointiin on luonnollisesti mahdollista esimerkiksi ohjelmallisin välinein toteutettuna (esim. kuvankäsittely-ohjelmistojen yhteydessä).

20 Väritasapainonsäätömenetelmän ja muiden kuvannusketjuun 10 järjestettyjen toimintojen välinen yhteistoiminta on myös 25 varsin helposti toteutettavissa tehokkaalla tavalla. Keksinnön mukainen menetelmä esitetään tässä tapauksessa kuvannusketjussa 10, joka käsittää CFAI:n, reunakorjauksen (vignetting elimination) VE, sensorin offsetkorjauksen (pedestal elimination) PE ja gammakorjauksen/arvioinnin GE, GA. Missä kohtaa tahansa ketjua 10 voi siihen kuulua luonnollisesti myös muita signaalinkäsittelytoimintoja, joista esimerkinä ennen gammakorjausta GA sovitettu väriasteikkokonversio CGC (color gamut conversion) (ei esitetty).

30 Itse keksinnön mukainen väritasapainon säätömenetelmä käsittää useita osavaiheita, kuten valaistuksen värin arviontivaiheen CBA ja korjausvaiheen CBC. Kuvassa 1 esitetään väritasapainon säätövaiheiden CBA, CBC suhde muihin kuvannusketjussa 10 35 oleviin toimintoihin. Kuvassa 1 ristiviivoitetut lohkot CBA,

CBC ovat menetelmän ydinosia. Puoliviivoitetut lohkot PE, GE, GC voivat toimia tiiviissä yhteistyössä keksinnön mukaisen menetelmän kanssa. Viivoittamattomat lohkot VE ja CFAI voivat olla riippumattomia, mutta liittyä myös väritasapainon 5 säätöön.

Seuraavaksi keksinnön mukaista menetelmää ja järjestelmää kuvataan keksinnön mukaisessa kuvankäsittelyketjussa 10, jollainen voi olla esimerkiksi keksinnön mukaisessa 10 kameralaitteistossa, yksittäisenä sovellusesimerkkinä lähtien liikkeelle väritasapainonsäätöön liittyvistä toiminnoista CBA, CBC.

Ensimmäisenä vaiheena itse väritasapainon säädössä on 15 valaistuksen värin R₁₁₁, G₁₁₁, B₁₁₁ arvioiminen. Keksinnön mukaisessa menetelmässä arvointi suoritetaan kuvan värikomponenttihistogrammeihin perustuen. Tällöin pääväreistä R, G, B muodostetaan komponenttikohtaiset värikäyrät.

20 Histogrammien X-akselilla kuvataan pikselien kirkkautta/tummuutta (intensiteettiä) siten, että esimerkiksi X-akselin oikeimmassa päässä on kirkas pää ja vasemmassa päässä on tumma pää. Vastaavasti Y-akselilla kuvataan kutakin kirkkaustasoa vastaavaa pikselien lukumäärää. Histogrammin 25 muodostaminen edustaa sinänsä tunnettua tekniikkaa, eikä sitä sen vuoksi tässä yhteydessä enempää selvitetä. Kunkin värikomponentin (R, G, B) signaaliarvojen (eli intensiteettiarvojen) histogrammit mitataan toisistaan erillisinä.

30 Komponenttikohtaiset histogrammit voidaan kerätä joko interpoloidusta signaalista, mutta myös ennen signaalin interpolointia, jota käytetään tässä tapauksessa esimerkkitoteutuksena. Tämä tarkoittaa sitä, että 35 värikomponenttihistogrammit voidaan määrittää raakakuvaan (Raw

image) datasta, jossa kukin kamerasensorin fyysinen pikseli edustaa ainoastaan yhtä värikomponenttia. Vaikkakin tässä sensorin värijärjestelmää kuvataan RGB-tasossa, alan ammattimiehelle ovat ilmeisiä myös muut tavat (CMYK, YUV, 5 jne.).

Tyypillinen toteutus tällaisen toimenpiteen suorittamiseksi on esimerkiksi hyvin tunnettu Bayer-matriisi järjestely, jota esitetään kuvassa 2. Yleisemmällä tasolla kyseeseen tulee 10 kohteen kuvaaminen pikseleittäin värikomponenttien R, G, B arvojoukoiksi [R], [G], [B]. Hakemukseissa kuvatun RGB-sovellusesimerkin tapauksessa kaksi pikseliä neljästä on vihreitä ja yksi pikseli punainen ja yksi sininen. Vihreitä on enemmän, koska se kuvaan parhaiten luminanssia ja on näin 15 silmän kannalta tärkein. Toisaalta myös sellainen sensori on mahdollinen, että esimerkiksi vain joka viides pikseleistä edustaa vihreää väriä G. Tyypillisesti sensorit ovat herkempia vihreälle väriille kuin punaiselle tai siniselle.

20 Histogrammit kerätään skannaamalla kuvan pikselit läpi. Jokaiselle värikomponenttille R, G, B lasketaan jokaisen mahdollisen signaalitason esiintymien lukumäärä. Näin ollen esimerkiksi RGB-kuvan tapauksessa saadaan kolme histogrammia, jotka esitetään kuvassa 3a.

25 Kuvassa 3a esitetystä tapauksesta on kuitenkin havaittavissa eräs merkittävä epäkohta, joka liittyy yleisesti valaistuksen värin arvioinnin tekniikan tasoon. Tämä ongelma aiheutuu mahdollisten saturoituneiden pikselien haittavaikutuksesta, 30 joista kussakin otoksen kuvakohdassa 15.1 - 15.3 jo yksikin saturoitunut pikseli $G_{(s)}$ häiritsee kuvakohdan muita pikseleitä R, G, B. Histogrammissa 3a tämä tarkoittaa suurta pikselimäärää, joilla on suurin signaaliarvo. Tämä aiheuttaa ongelmia, joita kuvattiin tarkemmin jo aiemmin hakemukseissa.

Histogrammeista tämä on havaittavissa kussakin värikäyrässä R, G, B olevina piikkeinä (kuvassa 3a).

Keksinnön mukaisessa menetelmässä yllättävästi histogrammin 5 keräysvaiheessa hylätään nämä saturoituneet pikselit $G_{(s)}$ ja lisäksi mahdollisesti myös niitä vastaavan saman kuvakohdan 15.1 muiden värien pikselit R, G, B. Tällaisen toimenpide- 10 vaiheen vaikutusta histogrammeihin keksinnön mukaisessa menetelmässä esitetään kuvassa 3b. Toimenpiteen seurauksena histogrammien jakaumista poistuu korkeat huiput, jotka muutoin aiheuttaisivat virhettä tunnetussakin tekniikassa ilmenevään valaistuksen värin arvioon.

Pikseliarvojen suodattaminen kustakin arvojoukosta [R], [G], 15 [B] suoritetaan ennen kumulatiivisten histogrammien muodostamista. Suodatus kohdistetaan sellaisiin pikseliarvoihin $G_{(s)}$ tai niiden lisäksi sellaisien kuvakohtien 15.1 pikseleihin, jossa saman kuvakohdan 15.1 yksikin pikseliarvo yhdessäkin kuvakohdan arvojoukossa [R], [G], [B] ylittää tai 20 täytyää sille asetetun valitun kriteerin.

Keksinnön mukainen valaistuksen värin arvioiminen ei häiriydy näiden saturoituneiden pikselien $G_{(s)}$ ja saman kuvakohdan 15.1 muidenkin pikselien R, G, B hylkäämisestä, vaan sitä vastoin 25 väriarvion luotettavuus kasvaa. Saturaation määrittelevä rajakohta eli kriteeriarvo voidaan asettaa siten, että menetelmän yhteentoimivuus esimerkiksi myöhemmin tarkemmin kuvattavan offsetkorjaus -vaiheen kanssa (pedestal elimination) saadaan edulliseksi. Edullinen arvo riippuu 30 toteutuksen yleisjärjestelystä. Esimerkkitapauksena voidaan käyttää sellaista kriteeriarvoa, joka saadaan, kun maksimaalisesta signaaliarvosta vähennetään tekijä pedestaaliarvo/2, jossa pedestaaliarvo voi olla esimerkiksi 64. Vastaavalla tavalla voidaan käsitellä myös tummaa päätyä.

Jos yksikin saman kuvakohdan 15.1 pikselien värikomponenteista R, G, B on siis saturoitunut ($G_{(s)}$), niin tällöin myös muutkin kuvakohdan 15.1 komponenttiarvot R, G, B hylätään. Raakakuvan tapauksessa, jolle ei ole tehty CFAI:ta, tämä tarkoittaa sitä, 5 että kaikki samaan raakapikselyhmään 15.1 kuuluvat värikomponentit R, G, B hylätään. Tätä ja sen vaikutusta kerättyihin histogrammeihin havainnollistetaan periaatteellisella tasolla kuvissa 3a ja 3b.

10 Kuvissa 3a ja 3b on kolme raakapikselyhmää 15.1 - 15.3, joista yhdessä ilmenee kyseinen saturaatio-ongelma vihreässä pikselissä $G_{(s)}$. Tällöin kuvan 3a histogrammissa, jota muodostettaessa huomioidaan kaikki kuvakohdat eli raakapikselyhmät 15.1 - 15.3, siihen muodostuu piikkejä. 15 Kuvassa 3b ongelmia aiheuttava raakapikselyhmä 15.1 hylätään, jolloin myös komponenttien histogrammikäyrät R, G, B loivenevat oleellisesti.

Menetelmän seuraavassa vaiheessa valaistuksen väriä arviodaan 20 suodatetuista värikomponenteista muodostetuista histogrammeista. Kuvissa 4a - 4c esitetään värikomponenttien R, G, B kumulatiiviset histogrammit, jotka muodostetaan varsinaisista histogrammeista ja joista on suodatettu pois saturoituneet pikselit $G_{(s)}$ ja niitä vastaavat kuvakohdat 15.1 edellä 25 kuvatulla tavalla. Erään suoritusmuodon mukaisesti kumulatiivisissa histogrammeissa voidaan esittää esimerkiksi X-akselilla ennalta asetetuin valituin välein pikseliprosenttiosuuksien tai pikselilukumäärän kumulatiivinen summa tai jokin muu pikselimäärää/osuutta vastaava suure, 30 jolloin Y-akselilla voidaan esittää näitä kohtia vastaavat intensiteettiarvot. Sovellusmuodon mukaisessa esimerkki-tapauksessa X-akselille on ennalta asetetuin välein asetettu esimerkiksi pikselien kumulatiiviset prosenttiosuudet h_i , ilmoittavat kuinka suuri osa (tai lukumäärä) suodatettujen

pikselien lukumäärästä on ennen niitä vastaavaa intensiteettikohtaa R_i, G_i, B_i .

Tekniikan tason mukaisissa menetelmissä valaistuksen väriä 5 arviodaan kumulatiivisten histogrammien pisteistä määrite-tyllä värellä, joka edustaa tiettyä pikselien prosentti- osuutta, joilla on referenssiarvoa pienemmät arvot.

Keksinnön mukaisessa menetelmässä valaistuksen väri 10 määritetään suodatettujen kumulatiivisten histogrammien kirkkaimman pään sellaiselta alueelta (kuvissa 4a - 4c histogrammeissa värikäyrän oikeanpuolimainen päätty), joka on oleellisen tasainen. Tällä tasaisella tai oleellisesti sellaiseksi miellettävällä (verrattuna esimerkiksi käyrän 15 muihin alueisiin) alueella histogrammin käyrä ei enää oleellisesti nouse sille asetettujen kriteeriehtojen mukaisesti eli värin intensiteettiarvo ei enää oleellisesti muutu sille asetettujen ehtojen mukaisesti.

20 Eräässä suoritusmuodossa saturatiopikseleistä $G_{(s)}$ ja niiden kuvakohdista 15.1 suodatetuista) kumulatiivisista histogrammeista suoritettava värikäyrien tasaisten alueiden etsimisproseduuri on oleellisessa osassa. Kun ennalta määrityt asetetulla tavalla kiinnitetyt kumulatiiviset 25 pikseliosuuskohdat h_1, h_2, \dots, h_n on asetettu ja näitä kohtia vastaavat intensiteettiarvot ($R_1 - R_n, G_1 - G_n, B_1 - B_n$) on laskettu, haetaan eksinnön menetelmän pääperiaatteen mukaisesti värikäyrien R, G, B tasaiselta alueelta sellainen kullekin värikäyrälle R, G, B yhteen asetetuin välein 30 määritelty kohta h_i , jossa näiden asetetuin jakovälein määriteltyjä peräkkäisiä kohtia h_i, h_{i+1} vastaavien pikseli- intensiteettiarvojen suhde C_i / C_{i+1} ($C = R, G, B$) täyttää sille asetetut kriteeriehdot.

Valaistuksen väri $R_{i,11}, G_{i,11}, B_{i,11}$ määritetään näitä kohtia h_i vastaavia peräkkäisiä intensiteetti-arvoja C_i, C_{i+1} analysoimalla keksinnön menetelmän mukaisesti. Voidaan havaita, että jos pikseliarvojen saturaation suodatusvaihe 5 sivuutetaan, on kyseessä pitkälti tekniikan tason mukainen menetelmä, joissa valaistuksen väriksi arviodaan pistejoukko (R_i, G_i, B_i) , joka riippuu kulloinkin valitusta prosentuaalisesta kynnysarvosta. Keksinnön mukaisessa menetelmässä väriä arviodaan kuitenkin kehittyneemmällä 10 algoritmilla, joka asettaa tiettyjä alikriteerejä valaistuksen väriä $(R_{i,11}, G_{i,11}, B_{i,11})$ vastaaville kohdille h_i .

Valaistuksen väriä $(R_{i,11}, G_{i,11}, B_{i,11})$ vastaavat kohdat h_i etsitään kasvattamalla arvoa i , kunnes asetettu värikäyrän 15 tasaisuusehdo täyttyy oleellisesti jokaisella käyrällä R, G, B . Valaistuksen väriksi $(R_{i,11}, G_{i,11}, B_{i,11})$ asetetaan kohtaa h_i (eli kyseistä kohtaa vastaavaa prosenttiosuutta) vastaava intensiteettiarvo R_i, G_i, B_i , joka kullakin värikomponentilla R, G, B on yleensä erilainen.

20 Tämä kriteeri voidaan erään sovellusmuodon mukaan lausua myös kolmena alikriteerinä. Näistä alikriteereistä ensimmäisessä vaiheessa voidaan etsiä jokaisesta värikomponenttikäyrästä R, G, B sellainen käyrille R, G, B yhteeninen kohta h_i , jossa peräkkäisten erityisellä tavalla asetettua kohtaa h_i, h_{i+1} vastaavien pikseli-intensiteettiarvojen C_i, C_{i+1} suhde r_c on pienempi kuin sille valittu ensimmäinen kynnysarvo t_1 . Toisin sanoen alikriteeri voidaan muotoilla matemaattisesti myös siten, että

30
$$r_c = \frac{C_i}{C_{i+1}} < t_1, \text{ missä } C = (R, G, B)$$

Seuraavana alikriteerivaiheena voidaan menetelmässä tutkia, että ensimmäisessä vaiheessa etsittyjen ja ensimmäisen

alikriteerin täyttävien pikseliarvojen suhteiden r_R , r_G , r_B summa on pienempi kuin sille asetettu toinen kynnysarvo t_2 . Ellei tämä ehto toteudu, palataan takaisin ensimmäiseen vaiheeseen etsimään uutta ensimmäisen alikriteerin täyttävää 5 värikomponenttikolmikkoa, jotka kaikki ovat siis samassa prosenttiosuuskohdassa h_i , mutta joiden tästä kohtaa h_i vastaavat intensiteettiarvot R_i , G_i , B_i yleensä poikkeavat toisistaan. Tämä toinen alikriteeri voidaan matemaattisesti muotoilla myös siten, että

10

$$\frac{R_i}{R_{i+1}} + \frac{G_i}{G_{i+1}} + \frac{B_i}{B_{i+1}} < t_2$$

15 Jos toinen alikriteeri ei toteudu kyseisessä prosenttiosuuskohdassa h_i , palataan takaisin ensimmäiseen alikriteerivaiheeseen. Sen sijaan, jos toinenkin aliehto toteutuu löydetyllä värikomponenttikolmikolla (jotka löytyvät kohdasta h_i), siirrytään kolmanteen alikriteerivaiheeseen.

20 Kolmannessa alikriteerivaiheessa tarkistetaan, että ensimmäisessä alikriteerivaiheessa löydettyjen pikseliarvojen R_i , G_i , B_i muutoksiin suhteellisten nopeuksien suhde maksimipikseliarvomuutoksen ja minimipikseliarvomuutoksen välillä on pienempi kuin sille asetettu kolmas kynnysarvo t_3 . Ehto voidaan matemaattisesti muotoilla myös siten, että

25

$$\frac{\max((C_i - C_{i+1}) / C_{i+1}), \text{ missä } C \in R \parallel G \parallel B}{\min((C_i - C_{i+1}) / (C_{i+1}), \text{ missä } C \in R \parallel G \parallel B)} < t_3$$

30 Taulukossa 9 on esitetty sarakkeissa 3 ja 4 esimerkinomainen listaus kynnysarvoista t_1 , t_2 , jotka on kokeellisesti todettu hyviksi. Kynnysarvo t_1 voidaan asettaa siten, että se on esimerkiksi välillä 1,04 - 1,125, jossa sitä kasvatetaan sopivin kokeellisesti hyviksi todetuin välein lähtien liikkeelle alkuarvosta 1,04, vastaten indeksin arvoa 1.

Kynnysarvo t_2 voidaan asettaa siten, että se on esimerkiksi välillä 3,07 - 3,24, jossa sitä kasvatetaan sopivin kokeellisesti hyväksi todetuin välein lähtien arvosta 3,07, vastaten indeksin arvoa 1. Kynnysarvo t_3 voidaan asettaa 5 olemaan esimerkiksi suunnilleen noin 4.

Ennalta asetettuja prosenttiosuusarvoja vastaavaa indeksiä i voidaan kasvattaa esimerkiksi 31 kertaa sopivin kokeellisesti hyväksi todetuin prosenttiosuusvälein. Taulukossa 9 voidaan 10 kumulatiivisissa histogrammeissa kiinnitetyksi järjestetty prosenttiosuusarvojoukko h_i asettaa sarakkeen 2 mukaiseksi. Indeksi $i = 1$ vastaa suurinta histogrammiin laitettua intensiteettiarvoa (100%) kyseiseltä värikomponentiltä, jossa saturoituneet pikselit $G_{(s)}$ ja saturoituneen pikselin $G_{(s)}$ 15 kanssa saman kuvakohdan 15.1 muodostavat pikselit R, G, B on suodatettu pois histogrammeja kerättäessä. Intensiteettiarvot pienenevät taulukoitujen prosenttiosuksien mukaisesti eli esimerkiksi kohdassa h_{10} on 99,6% histogrammiin laitetuista intensiteettiarvoista pienempiä tai yhtä suuria kuin kyseistä 20 intensiteettiarvoa vastaava kohta. Kun 31 askelta on edetty kuvatunlaisella prosenttiosuusaskeljaolla, on viimeistään silloin hyvin oletettavaa, että on löydetty kaikki alikriteerit täytävä värikolmikko (R_{111} , G_{111} , B_{111}) valaistuksen värille. Tällaisen värikolmikon löytymistä edes 25 auttaa esitetynlaisella prosenttiosuusjaolla nimenomaan saturoituneiden pikselien $G_{(s)}$ ja sellaisten käsittävien kuvakohtien 15.1 pois suodattaminen histogrammien kokoamisvaiheessa.

30 Jos tilanne on jostain syystä sellainen, että alikriteerejä täytävää indeksikohtaa i ei jostain syystä löydykään, niin silloin tämä kyseinen indeksiarvo $i = 32$ valitaan ilman vertailuja referenssikohdaksi eli kirkkaimmaksi tasaiseksi alueeksi ja kyseistä kohtaa h_{32} vastaavat kunkin

värikomponentin R, G, B intensiteettiarvot vastaavaksi valaistuksen väriksi.

Taulukon 9 lopussa olevia indeksiarvoja $i = 32 - 34$ voidaan 5 käyttää esimerkiksi gamma-arvon valinnassa ja värien oikeellisuuden tarkistuksessa.

Kynnysarvojen t_1 , t_2 , t_3 arvojoukot perustuvat hakijan kokemusperäisesti tekemiin havaintoihin hyvästä 10 arvointitavasta valaistuksen väriille eikä niille ole olemassa näin ollen mitään kovinkaan loogista selitystä.

Vielä hyvin periaatteellisella tasolla esimerkinomaisesti viitataan erityisesti kuvien 4a - 4c insetteihin, joissa 15 inseteissä kuvataan suurennoksena tasaista aluetta, jolta histogrammien R, G, B yhteinen prosentiosuuspiste h_i etsitään. On ymmärrettävä, että inseteissä histogrammien nousu on esitetty erittäin liioiteltuna ja muutoinkin kuvaajat saattavat olla varsin epätodellisia, johtuen niiden 20 samanmuotoisuudesta, mutta niiden tarkoituksena onkin tässä tapauksessa vain ilmentää keksinnön mukaisen menetelmän perusperiaatetta.

R ja G histogrammeista havaitaan, että niillä histogrammin 25 äärimmäiseen oikeaan päähän asti ulottuva tasainen alue alkaa ainakin histogrammiin B verrattuna jo varsin aikaisessa vaiheessa. Tällöin periaatteessa värikäyrät R ja G toteuttaisivat keksinnön menetelmän mukaiset alikriteerit jo niiden oikeanpuolimaisessa ääripäässä tai ainakin lähempänä 30 ääripäätä kuin värikäyrän B tapauksessa.

Sen sijaan histogrammista B on havaittavissa tällaisen tasaisenalueen oikeanpuolimaisessa ääripäässä vielä tasaiseen alueeseen verrattuna oleellisesti jyrkempi prosentiosuusväli 35 $h_1 - h_4$, jolla välillä värin B intensiteetti muuttuu melko

jyrkästi ainakin värikomponentteihin R ja G verrattuna. Tämä nousu kumulatiivisessa histogrammissa B voi aiheuttaa esimerkiksi kuvaustilanteessa vallitsevista valaistusolosuhteista, jonka takia otoksen väritasapainoa on juuri 5 korjattava valaistuksen värin vaikutuksen eliminoimiseksi.

Keksinnön mukaista menetelmää käytettäessä, kuvien 4a - 4c insetteihin viitaten, ensimmäinen kullekin värikomponentille yhteinen ja asetetut kriteeriedot täyttävä prosentti-10 osuuskohta h_1 löydetään nyt kohdasta h_3 , jossa myös värikomponentin B histogramista löytyy eksinnön menetelmän mukaiset alikriteerit täyttävä tasainen alue. Vastaava valaistuksen väri R_{111} , G_{111} , B_{111} saadaan nyt kohtaa h_3 vastaavasta intensiteettiarvosta R_3 , G_3 , B_3 , joka yleensä on 15 joka värikomponentille R, G, B erilainen.

Edellä määriteltyjä alikriteerejä käytäen saadaan aikaan yllättävän robusti arvio valaistuksen väriille (R_{111} , G_{111} , B_{111}). Arvion luotettavuutta voidaan lisäksi testata sopivilla 20 algoritmeilla ja päätellä niistä saaduista tuloksista tarpeellista korjausmäärä ja sille mahdollisesti suoritettavaa uudelleen säätöä.

Korjausmäärä eli toisin sanoen vahvistuskerrointa G_R , G_G , G_B 25 käytetään väritasapainon säätämiseen. Korjausmäärä liittyy suoraan asetettuun tavoitetasoon R_{tgt} , G_{tgt} , B_{tgt} , johon jokainen arvioitu valaistuksen väri muunnetaan. Väritasapainoa säätävä vahvistuskerroin kullekin väriille R, G, B saadaan tavoiteväriä R_{tgt} , G_{tgt} , B_{tgt} ja kutakin värikomponenttia R, G, B vastaavaa 30 edellä esitetyllä tavalla määritettyä valaistuksen väriä R_{111} , G_{111} , B_{111} käytäen, jossa

$$G_R = R_{tgt} / R_{111},$$

$$G_G = G_{tgt} / G_{111} \text{ ja}$$

$$G_B = B_{tgt} / B_{111}.$$

Täyden tason korjauksessa valaistus pyritään tekemään valkoiseksi ($tgt = white$; arvo tällöin vastaavalla skaalauksella 1000). Tällöin värikomponenttisignaaleita 5 vahvistetaan vahvistuskertoimella siten, että valaistuksen väri muuntuu valkoiseksi. Tavoitetasoa voidaan pienentää saturoituneiden pikselien lukumäärän kasvaessa tai alkuperäisen kuvan kirkkauden pienentyessä. Tämä siksi, että vahvistusta ei haluta asettaa kuvan kirkkauden pienentyessä 10 liian suureksi, vaan pimeässä otetun kuvan tulee olla hieman tummempi kuin valoisassa otettu kuva.

Väritasapainotuksen säädön robustisuutta voidaan lisätä edelleen sopivalla tavalla muokaten määritettyjä 15 vahvistuskertoimia G_R , G_G , G_B . Vahvistuskertoimia G_R , G_G , G_B voidaan esimerkiksi verrata toisiinsa ja niille voidaan vaatia, että jokaiselle mahdolliselle kombinaatiolle on voimassa esimerkiksi seuraavat ehdot:

$$k_{\min} G_{C_{ref}} G_C \leq C1_{ref} G_{C1} \leq k_{\max} G_{C_{ref}} G_C, \\ 20 \text{ missä } C = (R \parallel G \parallel B) \text{ ja } C1 = (R \parallel G \parallel B, C1 \notin C) \\ k_{\min} < 1, \quad k_{\max} > 1$$

Tällöin esimerkiksi punaisen värin $C1 = R$ korjauuskertoimen G_R tulee olla tietyllä välillä vihreän värin R korjauuskertoimeen 25 verrattuna G_G . Sama koskee kaikkia värejä R , G , B suhteessa muihin väreihin R , G , B . Näissä ehdioissa voidaan erään sovellusmuodon mukaan asettaa esimerkiksi $k_{\min} = 0,66$ ja $k_{\max} = 4/3$. Arvolla $G_{C_{ref}}$ kuvataan värikomponenttien keskinäistä suhdetta standardivalaistuksessa, jonka suhteen määrittelytarve syntyy sensorien väriherkkyyks ominaisuudesta. Sensorit 30 ovat nimittäin tyypillisesti herkempia vihreälle värikomponentille G kuin punaiselle R ja siniselle B . Automaattisen korjauksen tekeminen riippuu esimerkiksi sensorivalmistajasta. Jos automaattinen korjaus on tehty, niin

silloin referenssi arvo on tyypillisesti 1 kaikille värikomponenteille. Jos korjausta ei ole tehty, niin silloin esimerkiksi vihreälle G voidaan asettaa $G_{ref} = 1$, jolloin vastaavasti voidaan asettaa punaiselle $G_{ref} = 1,6$ ja siniselle $G_{ref} = 2,1$.

On ymmärrettävää, että nämä numeeriset arvot voivat jossain määrin vaihdella eikä niitä siten ole mitenkään sidottu tässä esitettyihin. Myös nämä arvot perustuvat kokemusperäisiin 10 tuloksiin, jotka algoritmia kehitettäessä on sen pilotvaiheissa ilmennyt. Vahvistuksia G_R , G_G , G_B muutetaan, kunnes yllä mainittu ehto täytetään.

Käytämällä näitä modifioituja vahvistuskertoimia G_R , G_G , G_B 15 voidaan jokaiselle värikomponentille R , G , B laskea myös mediaaniarvo. Jos havaitaan, että valitun referenssi-värikomponentin mediaaniarvon ja toisen värikomponentin mediaaniarvon välillä oleva ero on suuri, niin vahvistuksia säädetään siten, että niiden välinen ero pienenee. Esimerkiksi 20 vihreätä värikomponenttia G voidaan käyttää referenssi-värikomponenttina.

Vielä eräänä viimeisenä rajoituksena vahvistuskertoimille G_R , G_G , G_B voidaan määritellä sellainen ehto, että jokaisen niistä 25 on oltava välillä:

$$G_{\min} \leq G_C \leq G_{\max}, \\ \text{missä } C = (R, G, B)$$

Tässä arvo G_{\min} eli absoluuttiarvo voidaan asettaa olemaan 30 esimerkiksi 1 ja G_{\max} -arvo olemaan esimerkiksi 16, erään suoritusmuodon mukaisesti esimerkiksi 10.

Jos edellä mainittua rajoitusta ei jokin edellä määritetyistä vahvistuskertoimista G_R , G_G , G_B täytä, kyseistä tai kyseisiä

vahvistuskertoimia modifioidaan ja muita kertoimia uudelleen säädetään vastaavasti samassa suhteessa.

Kun vahvistuskertoimet G_R , G_G , G_B on saatu lopulliseen 5 muotoonsa, niin seuraavaksi voidaan niitä käyttää muodostaa kullekin värikomponentille R, G, B väritasapainoa säättävä komponenttikohtainen funktiokuvaus (componentwise mappings). Näissä funktiokuvaussissa alaindeksillä In tarkoitetaan kamerasensorilla detektoitua väriä ja alaindeksillä Out 10 vahvistuskertoimella (G_R , G_G , G_B) korjattua väriä eli

$$\begin{aligned} R_{out} &= G_R * R_{in}, \\ G_{out} &= G_G * G_{in} \text{ ja} \\ B_{out} &= G_B * B_{in}. \end{aligned}$$

15 Kuvassa 7 on ylemmässä kuvajassa esitetty komponenttikohtaiset alkuperäiset histogrammit ja keskimmäisessä kuvajassa niistä keksinnön menetelmän mukaisesti määritettyjä vahvistuskertoimia käyttäen niistä 20 muodostetut komponenttikohtaiset funktiokuvaukset, joissa valaistuksen väri on siis keksinnön menetelmän mukaisesti huomioitu. Alin histogrammi kuvaa menetelmän mukaisesti muokattuja komponenttikohtaisia histogrammeja, joissa on huomioitu myös niin sanotun offsetin vähentäminen, jolla 25 tumman pään kontrastia saadaan lisättyä.

Keksinnön mukaisessa menetelmässä voidaan itse kameralaitteistoon tai vaihtoehtoisesti myös oheislaitteeseen järjestettävään kuvankäsittelyketjujärjestelmään 30 sovittaa myös muita toimenpiteitä edellä kuvatun väritasapainon automaattisen säättämisen CBA, CBC lisäksi.

Kuvassa 5 esitetään erästä ensimmäistä esimerkkia näistä toimenpiteistä, joka tunnetaan niin sanottuna pedestal 35 elimination:na PE eli raakamatriisille suoritettavana

pikseliarvojen offsetkorjauksena. Kuten kuvankäsittelyketjua 10 havainnollistavasta kuvasta 1 on todettavissa, tämä korjaus voidaan suorittaa ketjussa 10 välittömästi sensorilta saatavalle raakakuvalle.

5

Offset on sellainen värisignaaliista määritetty minimiarvo, joka saadaan, kun siepataan esimerkiksi täysin tumma otos. Digtiallisten kamerolaitteiden sensoreilla voi olla erilaiset offsetit joka värikanavalle. Robustin väritasapainon 10 säätötoiminnan kannalta olisi kuitenkin tärkeää, että offset saataisiin poistettua mahdollisimman moitteettomasti ja näin ollen sensori linearisoitua. Poisto voidaan järjestää joko kiinnitetyksi ja sensorispesifiseksi, jos samat offsetit lisätyvät värikomponenttisignaaleihin systemaattisesti. Myös 15 adaptiivisia tapoja voidaan käyttää.

Toteutustavoista riippumatta, tunnetussa tekniikassa pikseliarvojen offsetkorjauksessa periaatteessa pikseliarvoja vähennetään offsettarvoilla. Tällaisella toimenpiteellä on 20 kuitenkin Pilot-vaiheiden testeissä todettu olevan supistava vaikutus signaalin dynaamiseen alueeseen, koska silloin myös kirkkaimmat arvot pienenevät.

Keksinnön mukaisessa menetelmässä pikseliarvojen offsetkorjaus 25 tehdään ainakin osittain lineaarisesti. Tämä voidaan erään sovellusmuodon mukaan suorittaa esimerkiksi siten, että pedestaali p poistetaan suoralla vähennyslaskulla, kun pikselien signaalitaso on sille asetetun raja-arvon t alapuolella. Kun pikselien signaalitaso ylittää asetetun raja-30 arvon t , pedestaali p vähennetään, mutta signaalia myös samalla vahvistetaan siten, että maksimisignaalitaso ei oleellisesti tipu.

Tällainen pedestaalin eliminointivaiheella PE on erityisen 35 edullinen esimerkiksi eksinnön mukaisen menetelmän

5 tapauksessa, kun valaistuksen väriä arviodaan ja saturoituneiden pikseliarvojen vaikutusta pyritään oleellisesti eliminoimaan. Edellä kuvatulla tavalla eli osittain lineaarisesti suoritettuna saturoitunut pikseli säilyy pedestaalieliminoinnissa PE edelleen saturoituneena.

Keksinnön mukaisesti suoritettavan pedestaali-eliminoinnin PE periaatteellista suoritustapaa voidaan kuvata seuraavilla yhtälöillä kuvaan 5 viitaten

10

$$y = 0, \text{ kun } x < p$$

$$y = x - p, \text{ kun } p \leq x < t$$

$$y = x - p + \frac{x - t}{x_{\max} - t} p, \text{ kun } x \geq t$$

missä $p = \text{pedestaali}$ ja $t = \text{kynnysarvo}$

15 Koordinaatistoakselianoalogioita sovellettaessa on selvästikin siten, että $y = \text{Out}$ ja $x = \text{In}$. Näissä yhtälöissä voi

esimerkiksi olla siten, että $x_{\max} = 1023$, $p = 64$ ja $t = x_{\max} - (p/2) \Rightarrow 1023 - (64/2) = 991$.

20 Vielä erään sovellusmuodon mukaan eksinnön mukaiseen kuvankäsittelyketjuun 10 voidaan ottaa mukaan myös niin sanottu reunakorjaus, joka tunnetaan alan ammattimiehen terminologiassa myös ilmauksella "vignetting elimination" VE. Reunakorjaus VE voidaan järjestää kuvankäsittelyketjuun 10 esimerkiksi pedestaalikorjauksen PE jälkeen. Reunakorjauksella VE saavutetaan eräänä etuna kuvien nurkkatummumien 25 vähentäminen. Yleensä kuvan nurkkien tummuminen aiheutuu optiikasta ja sensorin fysikaalisista ominaisuuksista. Vignetting-ilmiölle on ominaista kuvan luminanssiarvon pieneneminen lähtien kuvan keskeltä ja edeten radiaalisesti kohti kuvan nurkkia.

30

Keksinnön mukaisella reunakorjausalgoritmilla VE voidaan kompensoida tätä epäkohtaa siten, että siinä käytetään kuvan avaruudellisesti vaihtelevaa offsetia ja vignetting-ilmiön korjauskerrointa vf , joka voi riippua muun muassa pikselin 5 sijainnista. Korjaustekijän vf arvo kasvaa, kun etäisyys r vignetting-ilmiön keskikohdasta kasvaa.

Vignetting-korjauksen keskikohta ($r = 0$) voidaan asettaa olemaan esimerkiksi kuvan keskellä. Korjauskerroin vf voidaan 10 kehittää sensorispesifisistä parametreista ja etäisyydestä riippuvaksi funktioksi. Parametrit voidaan määrittää esimerkiksi kalibraatiokuuksella, jossa sensorilla kuvataan valkoista vakiovalaistua pintaa ja josta sitten sopivalla parametriken alkuarvauksella saadaan määritettyä sellaiset 15 parametrit, että vignetting-ilmiö niillä eliminoituu. Etäisyys r voidaan määrittää sinänsä tunnetulla tavalla (esimerkiksi pythagoraan lause), jossa kuitenkin lisäkertoimena on huomioitava niin sanottu sivusuhde (aspect ratio). Vignetting-korjaus saadaan suoraan, kun kukin pikseliarvo kerrotaan sitä 20 vastaavaa etäisyyttä r vastaavalla kertoimella vf . Huomattavaa lisäksi on, että korjaustekijä voidaan kehittää erikseen myös jokaiselle värikomponentille R_{vf} , G_{vf} , B_{vf} , johtuen niiden erilaisista vaimentumistavoista. Jos värikomponentit 25 vaimenevat erilaisesti, niin tästä aiheutuva virhe olisi hyvä korjata, jottei siitä aiheudu virhettä itse väritasapainon säätöön.

Reunakorjausalgoritmin VE järjestäminen siten, että se on kuvankäsittelyketjussa 10 esimerkiksi pedestaalikorjauksen PE 30 jälkeen ja ennen väritasapainon arvointivaihetta CBA on edullista, koska tällöin ei kuvan nurkissa mahdolliset ilmenevät tummumat aiheita vääristymää varsinaiseen väritasapainon säätöön CBC.

Kuvassa 6 esitetään esimerkki vielä eräästä keksinnön mukaiseen menetelmään mahdollisesti liitettävästä osavaiheesta. Viimeisenä osavaiheena keksinnön mukaisessa kuvankäsittelyketjussa voi erään sovellusmuodon mukaan olla lisäksi tumman värin korjaus. Siinä kumulatiivisista histogrammeista etsitään sellaiset arvot, jotka täyttävät niille asetetun tietyn erityisen kynnysarvon. Tumman värin korjauksessa kynnysarvon perusteella määritettyä tumminta värikomponenttia venytetään kohti mustaa asetetun suuruisesti ja myös muita komponentteja prosessoidaan samassa suhteessa. Venytys tehdään lisäämällä asetetun suuruinen siirtymä (offset) värimuunnosfunktioihin, kuten kuvassa 6.

Tumman pään kynnysarvo voidaan erään sovellusmuodon mukaan määrittää esimerkiksi siten, että kunkin värikomponentin R , G , B histogrammeista etsitään esimerkiksi 1%:n pikselimäärää vastaava intensiteettikohta. Tämän jälkeen nämä kunkin värikomponentin 1%:in kohtaa vastaavat intensiteettiarvot kerrotaan sen hetkisillä kutakin värikomponenttia vastaavilla korjauskertoimilla ja näin saaduista modifioiduista intensiteettiarvoista valitaan pienin, joka modifioitu intensiteettiarvo edelleen kerrotaan 0,7:llä ja joka sitten valitaan korjauksen suuruudeksi.

Edellä määritetty ja valittu korjauksen suuruus jaetaan seuraavaksi sen hetkisillä korjauskertoimilla G_R , G_G , G_B , jonka jakolaskun seurausena saadaan kullekin värikomponentille offset-arvot $OffsetR$, $OffsetG$, $OffsetB$. On huomattava, että offset-arvot eivät vaikuta väriin vaan niillä on ainoastaan kuvaan tummemmaksi vetävä vaikutus. Jotta väritasapainon säädön tavoitetaso saataisiin edelleen pysymään samana kuin se oli alun perin tarkoitettu, niin vielä on määritettävä uudelleen säädettyt korjauskertoimet G'_R , G'_G ja G'_B . Jos kuvassa ei ole tummia kohtia voidaan lisätä (vähän) kontrastia.

Kuvassa 7 esitetään alimmassa histogrammissa esimerkki, jossa kuvataan tummien pikselien värin korjauksella saatavaa histogrammia, jossa siis tummien pikselien värin korjauksessa muunnosfunktioihin lisätään edellä kuvatulla tavalla 5 määritetty offset ja sen seurauksena suoritetaan uudelleensäätö muunnosfunktioiden vahvistuksille. Tumman pääntä korjauksen seurauksena muunnosfunktiot saavat seuraavan muodon

```

10      ROut = GR' * (RIn - OffsetR) ,
      GOut = GG' * (GIn - OffsetG) ja
      BOut = GB' * (BIn - OffsetB) .

```

Tällainen prosessointi vaikuttaa siten, että määrittely-
pistettä kirkkaammat pisteet muuntuvat kirkkaammiksi ja tätä
15 tummemmat pisteet tummemmiksi. Muutoksella saavutettavaa
vaikutusta histogrammeihin havainnollistetaan kuvan 7
alimmassa kuvajassa, joka samalla esittää myös lopullista
keksinnön mukaisen kuvankäsittelyketjun 10 seurausena
saatavia komponenttikohtaisia histogrammeja. Keskimmäisessä
20 In/Out -kuvajassa on värikomponenteista muodostetut
funktiokuvaukset (mapping functions).

Keksinnön mukaisessa menetelmässä voidaan käyttää lineaarisia muunnosfunktioita. Myös epälineaarisuksia voidaan lisätä ja 25 tyypillisesti lisätäänkin, jos käytetty algoritmi yhdistetään vielä eräänä lisäsovellusmuotona mahdolliseen gammakorjaukseen.

Gammakorjaus GC voidaan erään sovellusmuodon mukaan toteuttaa
30 siten, että ensin määritetään kuvan tyyppi. Tämä voidaan erään
esimerkillisen sovellusmuodon mukaan tehdä siten, että
kumulatiivisista histogrammeista etsitään X-akselilta
esimerkiksi 25%, 50% ja 80%:n kohdat, joissa siis esimerkiksi
25%:n kohdassa on 25% kuvan muodostavista pikseleistä
35 intensiteettiarvoltaan tätä kohtaa tummempia tai yhtäsuuria.

Prosenttiosuksia 25, 50 ja 80 on vastaamaan asetettu kriteerit intensiteettiarvoille, joiden perusteella voidaan päätää, onko kulloinkin käsitellyssä oleva otos normaali, backlight vai low contrast. Määritynksen jälkeen valitaan sitä 5 pienempi gamma-arvo, mitä enemmän kuva tulisi kirkastaa. CEI/IEC-organisaatiossa (Commission Internationale de l'Eclairage (Vienna) / International Electrotechnical Commission (Geneve)) on gamman tasoksi SRGB (standard RGB) kuville valittu $0,45 = 1/2,2$ kuvassa 8. Keksinnön mukaisessa 10 menetelmässä gamma-arvot voivat vaihdella esimerkiksi välillä 0,20 - 0,60. Yleisellä hyvin karkeahkolla tasolla voidaan todeta, että gammakorjauksessa väritasapainoa korjataan säätöketjun 10 loppuvaiheessa tehtäväällä potenssiinkorotuksella, jossa intensiteettiarvot korotetaan määritettyä 15 gamma-arvoa vastaavaan potenssiin sopivilla intensiteettialueilla. Käyrän alkualueilla suoraa potenssiinkorotusta ei suoriteta, jotta tummallalla alueella muutos ei olisi liian nopea (jyrkkä).

20 Keksinnön mukaisen väritasapainon säätömenetelmän osavaiheet voidaan erään sovellusmuodon mukaan tiivistää seuraavasti.

1. Eliminoidaan pedestaali PE,
2. Vignetoinnin eliminointi VE
- 25 3. Kerätään histogrammi suodattamalla pois saturoituneet pikseliarvot $G_{(s)}$ ja myös niitä vastaavat kuvakohdat 15.1,
4. Määritetään kumulatiivisista histogrammeista arvio valaistuksen värille R_{111} , G_{111} , B_{111} eksinnön menetelmän mukaisia reunaehтоja t_1 , t_2 , t_3 käyttäen,
- 30 5. Määritetään valaistuksen värin arviota käyttäen tarvittavat värimuunnosfunktiokertoimet ja säädetään niitä käyttäen kehitettyjä reunaehтоja ja rajoituksia,
6. Säädetään värikomponenttien R, G, B summitta arvoa,
7. Käytetään lisäystä ja histogrammitietoa pääteltäessä 35 visuaalinen optimiarvo gammakorjaukselle.

Vaiheet 3, 4, 5 ja 6 ovat keksinnön mukaisessa menetelmässä ydinosia. On huomattava, että toteutuksista riippuen näitä vaiheita voidaan järjestää uudelleen tai yhdistellä useinkin 5 eri tavoin.

On ymmärrettävä, että edellä oleva selitys ja siihen liittyvät kuvat on tarkoitettu ainoastaan havainnollistamaan esillä olevaa keksintöä. Keksintöä ei siten ole rajattu pelkästään 10 edellä esitettyihin tai patenttivaatimuksissa määriteltyihin sovellusmuotoihin, vaan alan ammattimiehelle tulevat olemaan ilmeisiä monet erilaiset keksinnön variaatiota ja muunnokset, jotka ovat mahdollisia oheisten patenttivaatimusten määrittelemän keksinnöllisen ajatuksen puitteissa.

PATENTTIVAATIMUKSET

1. Menetelmä väritasapainon automaattiseksi säätämiseksi digitaalisessa kuvankäsittelyketjussa (10), jossa menetelmässä

- 5 - kohde kuvataan pikseleittäin värikomponenttien (R, G, B) arvojoukoiksi,
- värikomponenttien (R, G, B) arvojoukoista muodostetaan komponenttikohtaisia histogrammeja,
- komponenttikohtaisista histogrammeista muodostetaan 10 kumulatiivisia histogrammeja,
- kumulatiivisista histogrammeista määritetään ainakin yhdelle värikomponentille sitä vastaava valaistuksen väri (R_{ill} , G_{ill} , B_{ill}),
- ainakin kahdelle värikomponentille (R, G, B) määritetään tavoiteväriä (R_{tgt} , G_{tgt} , B_{tgt}) ja määritettyä valaistuksen väriä (R_{ill} , G_{ill} , B_{ill}) käyttäen väritasapainoa säätävä vahvistuskerroin (G_R , G_G , G_B),

tunnettu siitä, että menetelmässä

- 20 - määritetään kumulatiivisten histogrammien päässä värikäyrän olennaisesti tasaiselta alueelta sellainen piste h_i , jossa peräkkäisiä pisteitä h_i , h_{i+1} vastaavat värikomponenttikohtaiset pikseli-intensiteettiarvot C_i , C_{i+1} täyttävät ainakin yhden värikomponentin (R, G, B) kohdalla niille asetetut kriteeriedot ja
- asetetaan ainakin yhdelle värikomponentille (R, G, B) yhteistä määritettyä pistettä h_i vastaava värikomponenttikohtainen intensiteettiarvo C_i 25 vastaamaan valaistuksen väriä (R_{ill} , G_{ill} , B_{ill}).

30

2. Patenttivaatimuksen 1 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että valaistuksen väri (R_{ill} , G_{ill} , B_{ill}) määritetään kumulatiivisista histogrammeista etsimällä sellainen pienin indeksi i , joka täyttää seuraavat alikriteerit:

1) kahden peräkkäisiä ja asetetun välijaon mukaisesti valittuja pisteitä h_i, h_{i+1} vastaavien pikseliarvojen C_i, C_{i+1} suhde r_c on pienempi kuin niille asetettu ensimmäinen kynnysarvo t_1 kullakin värikomponentilla (R, G, B), eli

$$r_c = \frac{C_i}{C_{i+1}} < t_1, C = (R, G, B) ,$$

2) näin saatujen pikseliarvojen C_i, C_{i+1} suhteiden r_c summa on pienempi kuin niille asetettu toinen kynnysarvo t_2 ,

$$\frac{R_i}{R_{i+1}} + \frac{G_i}{G_{i+1}} + \frac{B_i}{B_{i+1}} < t_2 \quad \text{ja}$$

3) pikseliarvojen C_i, C_{i+1} muutoksiin suhteellisten nopeuksien suhde maksimipikseliarvomuutoksen ja minimipikseliarvomuutoksen välillä on pienempi kuin sille asetettu kolmas kynnysarvo t_3 ,

$$\frac{\max((C_i - C_{i+1}) / C_{i+1}), \text{ missä } C \in R \parallel G \parallel B}{\min((C_i - C_{i+1}) / (C_{i+1}), \text{ missä } C \in R \parallel G \parallel B)} < t_3 \quad \text{ja}$$

jossa ehdot 1 - 3 täyttävää pistettä h_i vastaavat kunkin värikomponentin intensiteettiarvot C_i asetetaan vastaamaan valaistuksen väriä ($R_{i11}, G_{i11}, B_{i11}$).

3. Patenttivaatimuksen 2 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että ensimmäinen kynnysarvo t_1 vaihtelee välillä 1,0 - 1,5, edullisesti välillä 1,01 - 1,2.

25

4. Patenttivaatimuksen 2 tai 3 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että toinen kynnysarvo t_2 vaihtelee välillä 3,0 - 4,0, edullisesti välillä 3,0 - 3,5.

5. Patenttivaatimuksen 2 - 4 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että kolmas kynnsarvo t_3 vaihtelee välillä 3,0 - 5,0, ollen edullisesti noin 4,0.

5 6. Patenttivaatimuksen 1 - 5 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että menetelmässä suoritetaan ennen väritasapainon säätöä (CBC) raakamatriisiin pikseliarvoille lisäksi pedestaalin eliminointi (PE).

10 7. Patenttivaatimuksen 6 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että pedestaalin eliminointi (PE) suoritetaan ainakin osittain lineaarisesti esimerkiksi siten, että

15 - värikomponentin (R, G, B) pikseliarvotason ollessa sille asetetun raja-arvon (t) alapuolella, vähennetään offset (p) suoralla vähennyslaskulla, ja asetetun raja-arvon (t) jälkeen
- vähennetään offset (p) vahvistaen pikseliarvoja samalla kuitenkin siten, että maksimipikseliarvotaso ei oleellisesti pienene.

20

8. Patenttivaatimuksen 1 - 7 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että menetelmässä suoritetaan lisäksi reunakorjausproseduuri (vignetting elimination) (VE), joka suoritetaan edullisesti pedestaalin eliminoinnin (PE) jälkeen ja ennen 25 väritasapainon säätöä (CBC).

9. Patenttivaatimuksen 8 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että reunakorjausproseduurissa (VE) käytetään avaruudellisesti muuttuvaa offsetia ja pikseliarvon vahvistuskerrointa (vf).

30

10. Patenttivaatimuksen 9 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että vahvistuskerroin (vf) kehitetään kullekin värikomponentille (R, G, B) erikseen.

11. Patenttivaatimuksen 1 - 10 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että menetelmän yhteydessä suoritetaan lisäksi tumman värin korjausproseduuri, jossa osavaiheina

- kumulatiivisesta histogrammista etsitään sellaiset pikseliarvot, jotka täyttävät sille asetetun kynnysehdon (dpcc),
- määritettyä tumminta värikomponenttia venytetään määritetyn suuruisella siirtymällä (offset) kohti histogrammin tummaa päätyä prosessoiden samalla muita värikomponentteja samassa suhteessa ja
- muunnosfunktioiden vahvistuksille (G_R , G_G , G_B) suoritetaan uudelleensäätö.

12. Patenttivaatimuksen 1 - 11 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että jokaiselle värikomponentille (R, G, B) määritetään mediaanipikseliarvo ja jos valitun referenssikomponentin mediaanipikseliarvo ja värikomponentin (R, G, B) mediaanipikseliarvo eroavat toisistaan asetetulla tavalla, säädetään vahvistuksia (G_R , G_G , G_B) eron pienentämiseksi.

20 13. Patenttivaatimuksen 1 - 12 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että menetelmään kuuluu lisäksi gammakorjausosavaihe GC, jossa

- määritetään kumulatiivisista histogrammeista otostyyppi, joka voi olla esimerkiksi normaali, backlight tai low contrast,
- otostyyppimääritykseen perustuen valitaan gammakorjauksessa käytettäväksi sitä pienempi gamma-arvo, mitä enemmän kuva tulisi kirkastaa, joka gamma-arvo voi vaihdella esimerkiksi välillä 0,10 - 0,80, edullisesti välillä 0,20 - 0,60.

35 14. Patenttivaatimuksen 1 - 13 mukainen menetelmä, tunnettu siitä, että ennen kumulatiivisten histogrammien muodostamista ainakin yhdestä arvojoukosta suodatetaan pois ainakin

sellaiset pikseliarvot ($G_{(s)}$), jossa saman kuvakohdan (15.1) pikseliarvo yhdessäkin arvojoukossa täyttää valitun kriteerin.

15. Järjestelmä väritasapainon automaattiseksi säätämiseksi

5 digitaalisessa kuvankäsittelyketjussa (10), jossa järjestelmään kuuluu

- välineet koteen kuvaamiseksi pikseleittäin värikomponenttien (R, G, B) arvojoukoiksi,
- välineet komponenttikohtaisien histogrammien muodostamiseksi värikomponenttien (R, G, B) arvojoukoista,
- välineet kumulatiivisten histogrammien muodostamiseksi komponenttikohtaisista histogrammeista,
- välineet ainakin yhdelle värikomponentille sitä vastaavan valaistuksen värin (R_{i11} , G_{i11} , B_{i11}) määrittämiseksi kumulatiivisten histogrammien värikäyristä valitulla tavalla,
- välineet ainakin kahdelle värikomponentille (R, G, B) väritasapainoa säätävän vahvistuskertoimen (G_R , G_G , G_B) määrittämiseksi asetettua tavoiteväriä (R_{tgt} , G_{tgt} , B_{tgt}) ja määritettyä valaistuksen väriä (R_{i11} , G_{i11} , B_{i11}) käyttäen,

tunnettu siitä, että järjestelmään kuuluu lisäksi

- välineet kumulatiivisten histogrammien muodostamiseksi kunkin suodatetun arvojoukon [R], [G], [B] arvoista,
- välineet sellaisen kullekin värikomponentille (R, G, H) yhteen pisteen h_i määrittämiseksi kunkin kumulatiivisen histogrammin päässä värikäyrän tasaiselta alueelta, jossa peräkkäisiä pisteitä h_i , h_{i+1} vastaavien värikomponenttikohtaisien pikseli-intensiteettiarvot C_i , C_{i+1} on sovitettu täyttämään kunkin värikomponentin (R, G, B) kohdalla niille asetetut kriteeriedot ja

- välineet löydettyä pistettä h_i vastaavan intensiteettiarvon C_i asettamiseksi vastaamaan valaistuksen väriä ($R_{i11}, G_{i11}, B_{i11}$).

5 16. Patenttivaatimuksen 15 mukainen järjestelmä, tunnettu siitä, että järjestelmään kuuluu lisäksi ennen väritasapainon säätöä (CBC) sovitettu toiminnallisuus raakamatriisiin pikseliarvoille pedestaalin eliminoinnin (PE) suorittamiseksi.

10 17. Patenttivaatimuksen 15 tai 16 mukainen järjestelmä, tunnettu siitä, että järjestelmään kuuluu lisäksi välineet reunakorjauksen (VE) (vignetting elimination) suorittamiseksi, joka on sovitettu edullisesti pedestaalin eliminoinnin (PE) jälkeen ja ennen väritasapainon säätöä (CBC).

15 18. Patenttivaatimuksen 15 - 17 mukainen järjestelmä, tunnettu siitä, että järjestelmään kuuluu lisäksi välineet tumman värin korjaamiseksi.

20 19. Patenttivaatimuksen 15 - 18 mukainen järjestelmä, tunnettu siitä, että järjestelmään kuuluu lisäksi välineet saturoituneiden pikselien poistamiseksi arvojoukoista.

25 20. Laitteisto väritasapainon automaattiseksi säättämiseksi, jossa laitteisto käsittää digitaalisen kuvankäsittelyketjun (10), jossa ketjuun (10) kuuluu

- välineet koteen kuvaamiseksi pikseleittäin värikomponenttien (R, G, B) arvojoukoiksi [R], [G], [B],

30 - välineet komponenttikohtaisien histogrammien muodostamiseksi värikomponenttien (R, G, B) arvojoukoista,

- välineet kumulatiivisten histogrammien muodostamiseksi komponenttikohtaisista histogrammeista,

- välineet ainakin kahdelle värikomponentille sitä vastaan valaistuksen värin (R_{i11} , G_{i11} , B_{i11}) määrittämiseksi kumulatiivisten histogrammien värikäyristä valitulla tavalla,

5 - välineet ainakin kahdelle värikomponentille (R , G , B) väritasapainoa säätävän vahvistuskertoimen (G_R , G_G , G_B) määrittämiseksi asetettua tavoiteväriä (R_{tgt} , G_{tgt} , B_{tgt}) ja määritettyä valaistuksen väriä (R_{i11} , G_{i11} , B_{i11}) käyttäen valaistuksen värin kompensoimiseksi,

10 tunnettu siitä, että laitteistoon kuuluu lisäksi

- välineet sellaisen kullekin värikomponentille (R , G , B) yhteen pisteen h_i määrittämiseksi kunkin kumulatiivisen histogrammin päässä värikäyrän tasaiselta alueelta, jossa peräkkäisiä pisteitä h_i , h_{i+1} vastaavien värikomponenttikohtaisien pikseli-intensiteettiarvot C_i , C_{i+1} on sovitettu täyttämään kunkin värikomponentin (R , G , B) kohdalla sille asetetut kriteeriedot ja

20 - välineet löydettyä pistettä h_i vastaan intensiteettiarvon C_i asettamiseksi vastaamaan valaistuksen väriä (R_{i11} , G_{i11} , B_{i11}).

21. Ohjelmalliset välineet patenttivaatimuksen 1 mukaisen menetelmän toteuttamiseksi, jossa välineet käsitteivät rajapinnan kuvadataan vastaanottamiseksi

25 - ohjelmalliset välineet värikomponenttien (R , G , B) arvojoukoista $[R]$, $[G]$, $[B]$ komponenttikohtaisien histogrammien muodostamiseksi,

30 - ohjelmalliset välineet kumulatiivisten histogrammien muodostamiseksi komponenttikohtaisista histogrammeista,

- ohjelmalliset välineet kullekin värikomponentille sitä vastaan valaistuksen värin (R_{i11} , G_{i11} , B_{i11})

määrittämiseksi kumulatiivisten histogrammien väri-
käyristä valitulla tavalla,

5 - ohjelmalliset välineet ainakin kahdelle
värikomponentille (R, G, B) väritasapainoa säätävän
vahvistuskertoimen (G_R , G_G , G_B) määrittämiseksi
asetettua tavoiteväriä (R_{tgt} , G_{tgt} , B_{tgt}) ja määritettyä
valaistuksen väriä (R_{ill} , G_{ill} , B_{ill}) käyttäen
valaistuksen värin kompensoimiseksi,

10 tunnettu siitä, että ohjelmallisiin välineisiin on sovitettu
lisäksi

15 - ohjelmalliset välineet sellaisen kullekin
värikomponentille (R, G, H) yhteisen pisteen h_i
määrittämiseksi kunkin kumulatiivisen histogrammin
päässä värikäyrän tasaiselta alueelta, jossa
peräkkäisiä pisteitä h_i , h_{i+1} vastaavien värikompo-
nenttikohtaisien pikseli-intensiteettiarvot C_i , C_{i+1}
on sovitettu täytämään kunkin värikomponentin (R, G,
B) kohdalla sille asetetut kriteerierodot ja
- ohjelmalliset välineet löydettyä pistettä h_i
20 vastaavan intensiteettiarvon C_i asettamiseksi
vastaamaan valaistuksen väriä (R_{ill} , G_{ill} , B_{ill}).

(57) TIIVISTELMÄ

Keksintö koskee menetelmää väritasapainon automaattiseksi säättämiseksi digitaalisessa kuvankäsittelyketjussa (10). Menetelmässä kohde kuvataan värikomponentteina (R , G , B), joista muodostetaan kumulatiiviset histogrammit. Näiden värikäyristä määritetään valitulla tavalla valaistuksen väri (R_{111} , G_{111} , B_{111}), joka huomioidaan väritasapainoa säättäviä vahvistuskertoimia (G_R , G_G , G_B) määriteltääessä. Menetelmässä ennen valaistuksen värin määrittämistä suodatetaan pois ainakin sellaiset pikseliarvot ($G_{(s)}$), jotka täyttävät valitun kriteerin. Tämän jälkeen muodostetaan kumulatiiviset histogrammit ja määritetään niiden päässä värikäyrän tasaiselta alueelta valitulla kriteerillä sellainen piste h_i , jota- asetetaan värikomponenteille (R , G , H) yhteistä määritettyä pistettä vastaava värikomponenttikohtainen intensiteettiarvo C_i vastaamaan valaistuksen väriä (R_{111} , G_{111} , B_{111}).

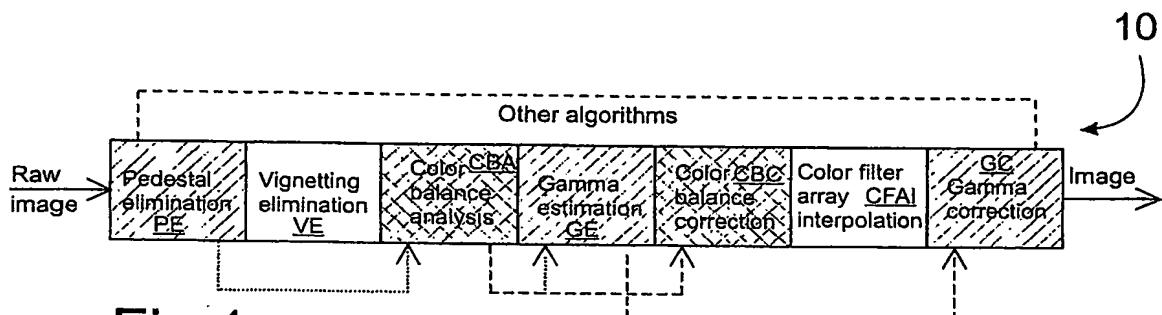


Fig.1

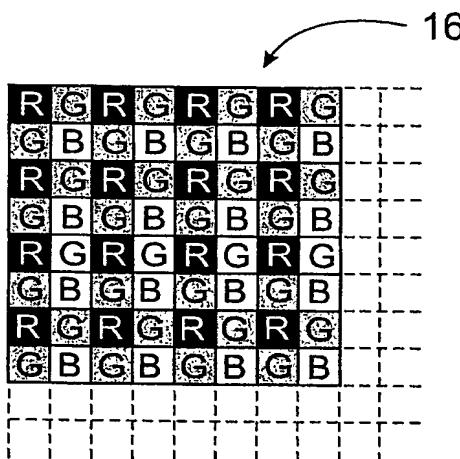


Fig.2

15.1

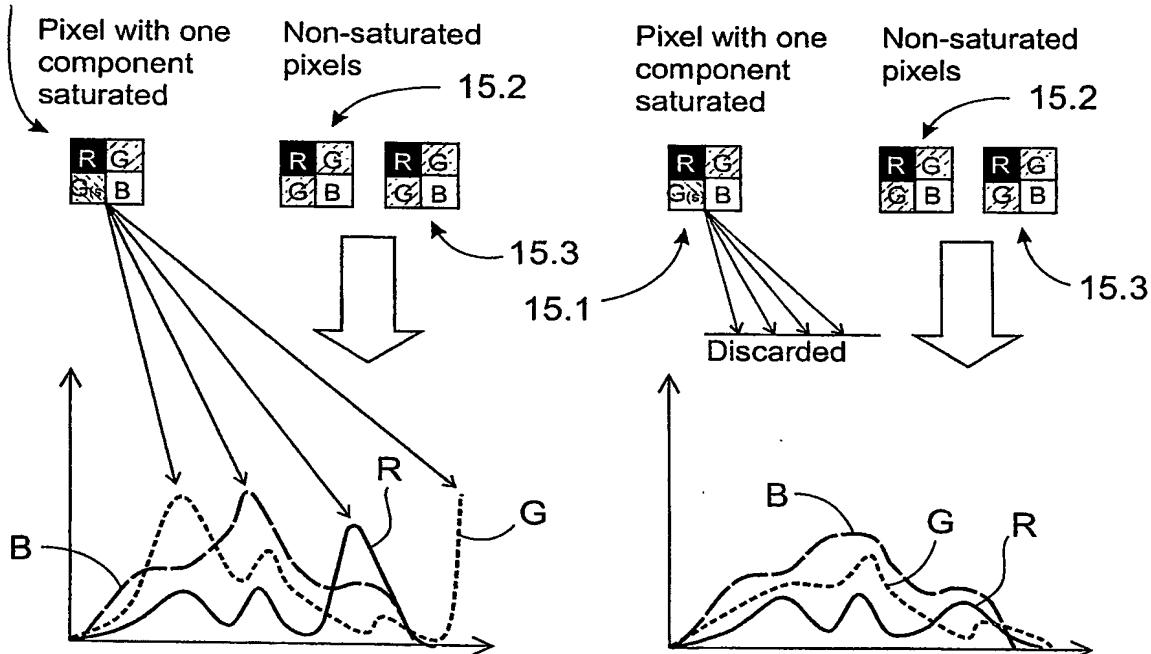


Fig.3a

Fig.3b

L 6

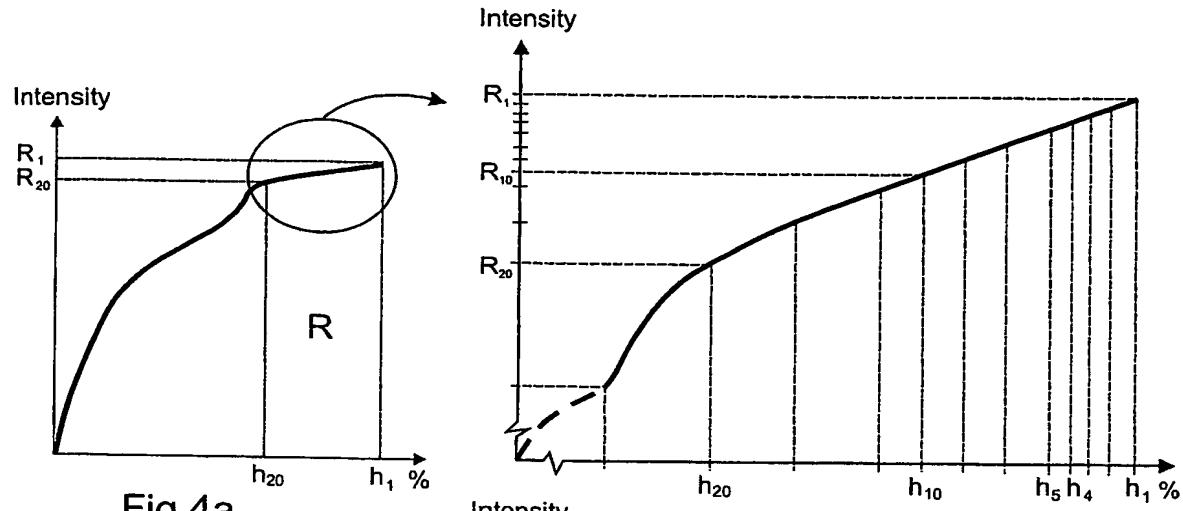


Fig.4a

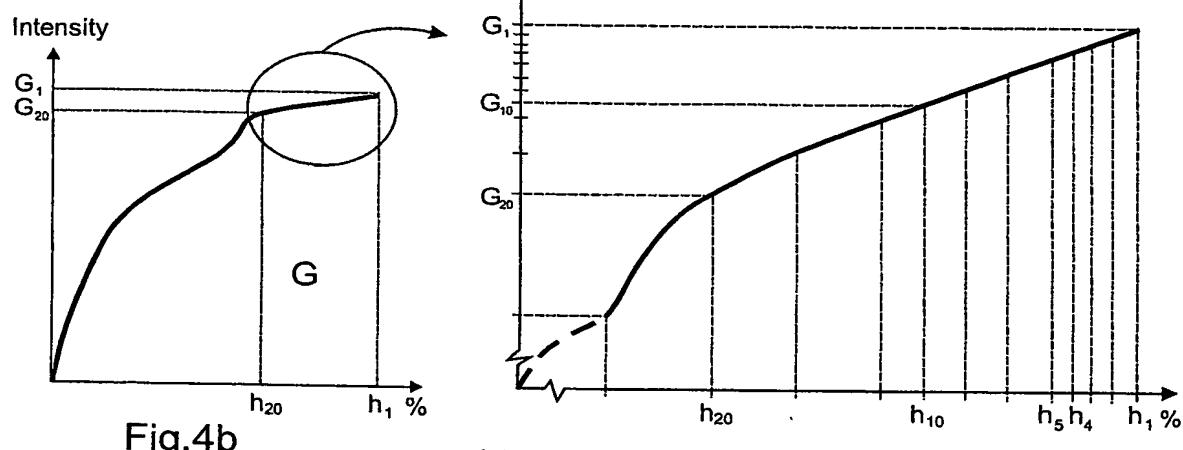


Fig.4b

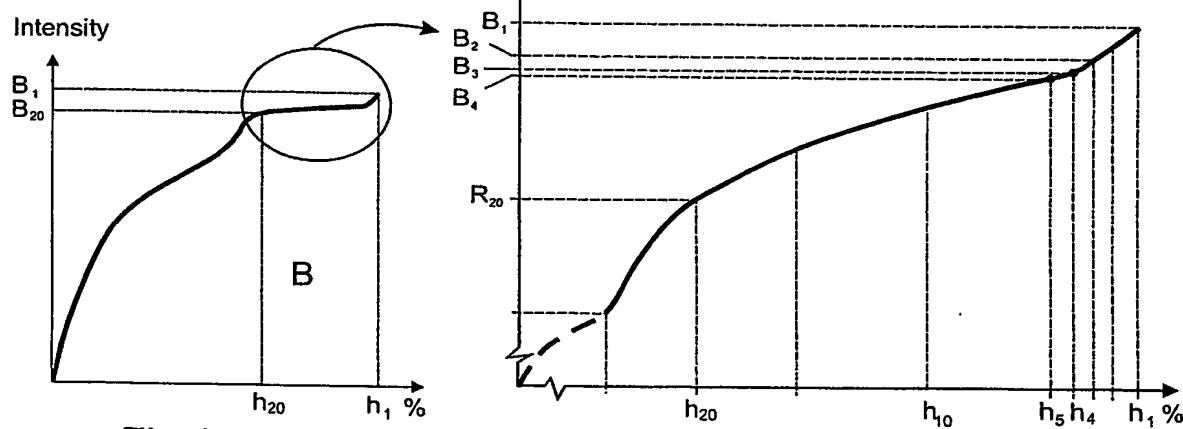


Fig.4c

h_4 = Illumination point

Fig.5

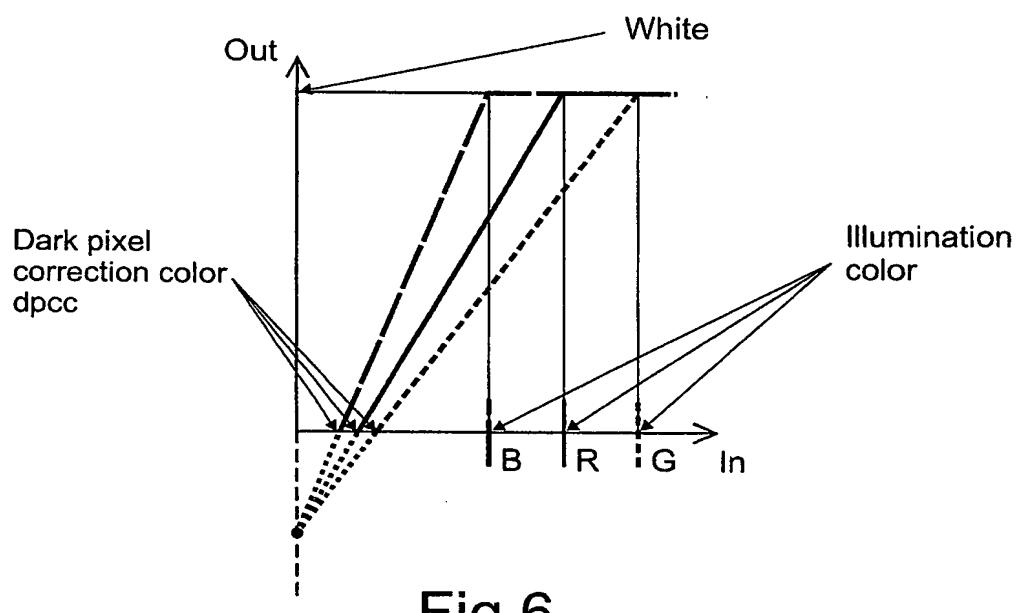
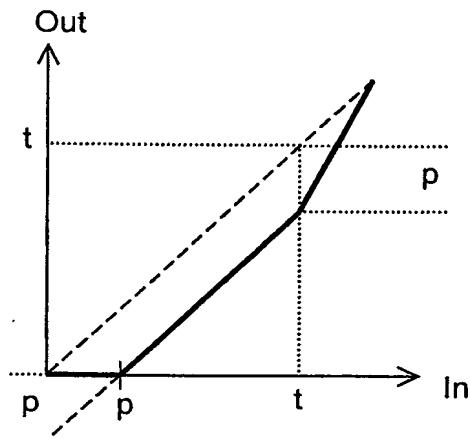
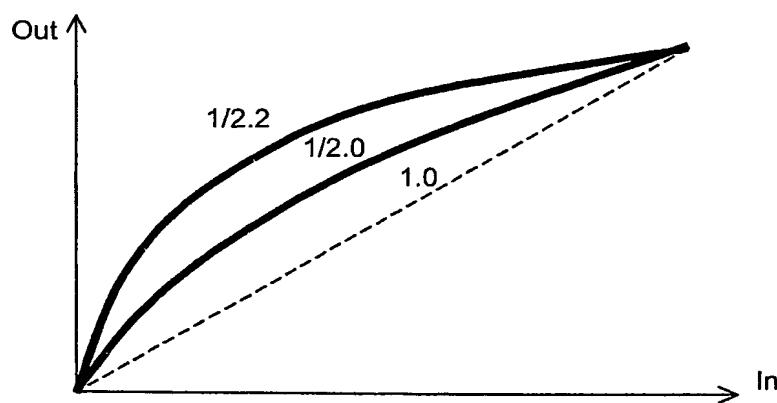
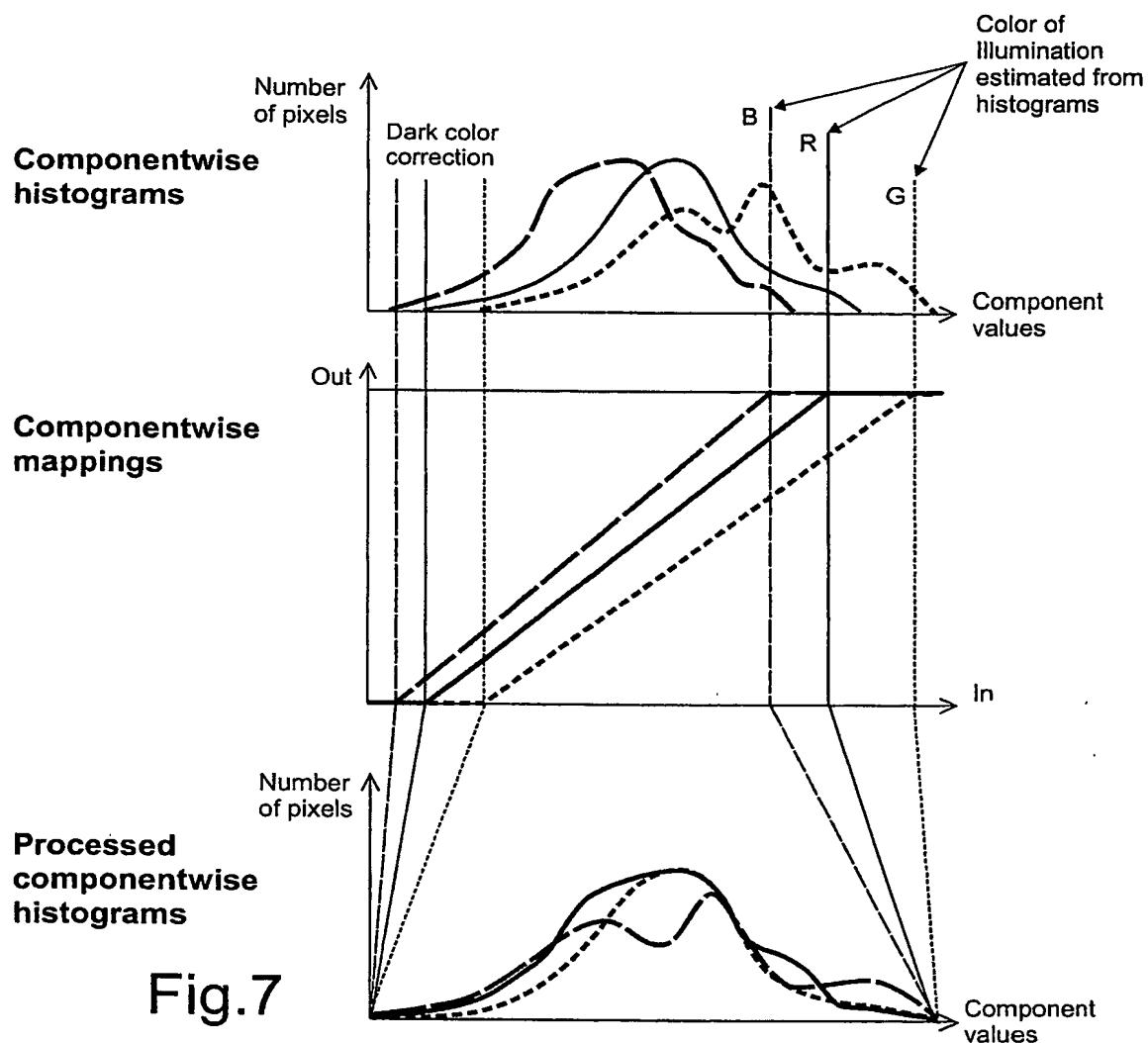


Fig.6



i	%	t ₂	t ₁
1	100	0	0
2	99,9755859375	3,0703125	1,046875
3	99,951171875	3,0703125	1,0546875
4	99,9267578125	3,0703125	1,0625
5	99,90234375	3,09375	1,0703125
6	99,853515625	3,09375	1,07421875
7	99,8046875	3,09375	1,078125
8	99,755859375	3,09375	1,08203125
9	99,70703125	3,1171875	1,0859375
10	99,609375	3,1171875	1,08984375
11	99,51171875	3,1171875	1,09375
12	99,4140625	3,1171875	1,09765625
13	99,31640625	3,140625	1,1015625
14	99,12109375	3,140625	1,10546875
15	98,92578125	3,140625	1,109375
16	98,73046875	3,140625	1,11328125
17	98,53515625	3,1640625	1,1171875
18	98,14453125	3,1640625	1,12109375
19	97,75390625	3,1640625	1,125
20	97,36328125	3,1640625	1,125
21	96,97265625	3,1875	1,125
22	96,19140625	3,1875	1,125
23	95,41015625	3,1875	1,125
24	94,62890625	3,1875	1,125
25	93,84765625	3,2109375	1,125
26	92,28515625	3,2109375	1,125
27	90,72265625	3,2109375	1,125
28	89,16015625	3,2109375	1,125
29	87,59765625	3,234375	1,125
30	85,05859375	3,234375	1,125
31	85,05859375	3,234375	1,125
32	79,98046875	3,234375	1,125
33	50		
34	25		

Fig.9

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.